



Ricardo Filipe Lopes Alves da Silva

Licenciado em Ciências da Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Iluminação Pública Eficiente Caso de Estudo na FCT/UNL

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Orientador: Pedro Miguel Ribeiro Pereira, Prof. Doutor, FCT/UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Luís Augusto Bica
Gomes de Oliveira - FCT/UNL

Arguente: Prof. Doutora Anabela Monteiro
Gonçalves Pronto - FCT/UNL



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Dezembro de 2018

Iluminação Pública Eficiente – Caso de estudo na FCT/UNL

Copyright © Ricardo Filipe Lopes Alves da Silva, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

À Eva

À minha família e amigos

Agradecimentos

Antes de mais gostaria de agradecer ao meu orientador, Professor Pedro Pereira, pela oportunidade que me deu para realizar este trabalho, por se mostrar sempre disponível, muitas vezes em horários difíceis, para me receber e pela pronta resposta a qualquer pergunta por mim dirigida.

Agradecer a todos os meus professores, do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de toda a FCT, pelos conhecimentos transmitidos durante o curso.

À Faculdade de Ciências e Tecnologia pelas condições que me deu para fazer o meu curso, e também pela disponibilidade para a instalação de luminárias para a conclusão deste projeto, na FCT.

À Schréder Iluminação pela cedência das luminárias utilizadas neste projeto e pela compreensão manifestada ao longo do tempo em que fiz este trabalho. Em especial, ao Miguel Nogueira.

Aos meus pais por toda a educação que me deram e por me terem apoiado sempre em todas as escolhas que tenho fiz na minha vida. À minha irmã e ao meu sobrinho por todo o apoio que também me transmitiram.

A todos os meus colegas e pessoas que conheci na faculdade, muitos deles amigos para a vida, como o Bruno Galveia, Nuno Vilhena, Bruno Vilhena, Nuno Diniz e Pedro Salgado, entre outros, pelas horas passadas juntos na faculdade e pelas horas de lazer e amizade que sempre irei recordar.

Por fim, queria agradecer à Eva por todo o apoio que sempre me deu durante a realização deste projeto, nos momentos bons e nos momentos maus. Muitas vezes prejudicando o seu tempo pessoal para eu poder estar totalmente dedicado à conclusão deste trabalho.

Resumo

A iluminação pública está num processo progressivo de mudança. A maioria dos novos projetos ou dos projetos de remodelação já contemplam a tecnologia LED para substituição da tecnologia convencional (lâmpadas de descarga).

Com a implementação da iluminação LED, também começam a surgir, embora não de forma tão acentuada, os sistemas de telegestão com opções de controlo para a iluminação pública.

A iluminação LED está desde logo, associada a benefícios fotométricos e a poupanças energéticas. Quando associada a um sistema de telegestão permite ainda maiores poupanças.

O objetivo desta dissertação é provar que as poupanças que um sistema de telegestão fornece a nível energético são relevantes, e podem ser traduzidas numa redução significativa a nível de custos monetários (quer seja custos energéticos ou de manutenção).

Para tal, será utilizado o exemplo da iluminação atual da FCT para estudar quais seriam as poupanças energéticas no caso de ser efetuada uma substituição total da iluminação atual em descarga para iluminação LED. São calculadas as poupanças com tecnologia LED para dois cenários, com e sem sistema de telegestão.

Por fim, foi realizado um projeto piloto com luminárias instaladas na FCT para comparar com os resultados práticos com os resultados calculados, e desta forma, ser possível corroborar as poupanças energéticas deste tipo de sistemas.

Termos Chave: LED, iluminação LED, Iluminação pública, Sistemas de telegestão, Sistemas de Controlo, DALI, 1-10V, ZigBee.

Abstract

Public lighting is in a progressive process of change. The majority of new projects and of remodeling projects in Public Lighting already include LED technology to replace the conventional technology (discharge lamps).

With the implementation of LED lighting also begin to emerge, though not so markedly, telemanagement systems with control options for public lighting.

LED lighting is immediately associated with photometric benefits and energy savings. When combined with a telemanagement system, it allows even greater savings.

The main objective of this dissertation is to prove that the energy savings provided by a telemanagement system are relevant and that it can be translated into a relevant reduction in monetary costs (whether energy or maintenance costs).

For this purpose, will be used the example of the current FCT lighting installation to study the energy savings in case of a total replacement of the current discharge lighting for LED lighting. The energy savings with LED technology will be calculated for two scenarios, with and without telemanagement system.

Finally, was carried a pilot project by installing LED luminaires in the FCT to compare the practical results with the calculated results, and thus, be possible to corroborate the energy savings of this type of systems.

Keywords: LED, LED lighting, Public lighting, Telemanagement systems, Control Systems, DALI, 1-10V, ZigBee.

Índice de Matérias

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Motivação.....	1
1.2	Objetivos.....	2
1.3	Organização da dissertação	3
2	TECNOLOGIAS UTILIZADAS EM ILUMINAÇÃO	5
2.1	Lâmpadas	5
2.1.1	Lâmpada de Vapor de Sódio.....	5
2.1.2	Lâmpada de Vapor de Mercúrio e Lâmpada de Iodetos Metálicos.....	6
2.2	LED – Díodo Emissor de Luz	6
2.2.1	Temperatura da cor	8
2.2.2	Eficiência e vida útil	9
2.2.3	Tecnologia amiga do ambiente	10
2.2.4	Drivers	10
2.3	Protocolos de Controlo na iluminação LED.....	11
2.3.1	Protocolo 0-10V ou 1-10V	11
2.3.2	Protocolo DALI.....	12
2.3.3	Outros Protocolos	12
2.4	Sistemas de Controlo	12
2.4.1	<i>Drivers</i> com fluxo reduzido ao longo da noite	13
2.4.2	Sensores.....	13
2.4.3	Redução do fluxo luminoso por redução da tensão	14
2.4.4	PLC.....	15
2.4.5	<i>ZigBee</i>	16
2.4.6	LPWAN	17
2.4.7	Rede Móvel GSM(2G/3G)	18
2.5	Plataformas de Telegestão	19

2.6	Conclusões.....	20
3	ESTADO DA ARTE	21
3.1	Plataformas de telegestão de Iluminação	21
3.1.1	Philips CityTouch.....	21
3.1.2	Telensa PLANet.....	23
3.1.3	Schröder - Owlet.....	24
3.2	Comparação de sistemas de telegestão.....	28
3.3	Conclusões.....	29
4	ESTUDO ECONÓMICO DA AQUISIÇÃO DE LUMINÁRIAS LED	31
4.1	Iluminação exterior atual da FCT	31
4.1.1	Cálculo da Energia consumida – Situação atual.....	32
4.1.2	Cálculo do custo de energia para a iluminação atual.....	34
4.2	Implementação da Iluminação LED.....	35
4.2.1	Cálculo da energia consumida para a solução LED proposta	36
4.2.2	Cálculo do custo da energia para a solução LED proposta	37
4.2.3	Rentabilização da implementação da solução LED	38
4.3	Implementação da Iluminação LED com telegestão	40
4.3.1	Cálculo da energia consumida para a solução LED com telegestão.....	41
4.3.2	Cálculo do custo de energia para a solução LED com telegestão.....	42
4.3.3	Rentabilização da solução LED com telegestão	43
4.4	Conclusões.....	45
5	PROJETO PILOTO NA FCT	47
5.1	Luminária Tipo A1: Cálculo e Custo da energia consumida.....	50
5.2	Luminárias LED: Cálculo e custo da energia consumida.....	51
5.2.1	Luminária LED01	52
5.2.2	Luminária LED02	54

5.2.3	Luminária LED03	57
5.2.4	Luminária LED04	59
5.3	Conclusão	60
6	ANÁLISE DE RESULTADOS.....	61
6.1	Análise do estudo económico realizado no capítulo 4	61
6.1.1	Comparação em termos energéticos da solução atual para as soluções LED propostas 61	
6.1.2	Custos solução atual vs. Poupanças das Soluções LED.....	62
6.1.3	Retorno do investimento para ambas as soluções propostas	64
6.2	Análise aos resultados do projeto Piloto	66
6.2.1	Consumo energético para os 5 dias do projeto.....	66
6.3	Comparação entre os resultados do estudo económico da iluminação da FCT e o projeto piloto.....	67
6.4	Conclusão	68
7	CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO	69

Índice de Figuras

Figura 1 - Lâmpada de Vapor de Sódio	5
Figura 2 - Lâmpada de Iodetos Metálicos	6
Figura 3 - Junção p-n	7
Figura 4 - Tipos de LED: Baixa potência, média potência e alta potência	7
Figura 5 - Led branco	8
Figura 6 - Temperatura de cor do LEDs, retirado de (Schröder, 2016a)	9
Figura 7 - Relação entre o tempo de vida útil e a temperatura da luminária, retirado de (Philips Lighting, 2018b).....	9
Figura 8 – Diagrama de <i>Driver</i> de iluminação LED.....	11
Figura 9 – Relação entre a corrente de saída(percentagem)e a tensão de controlo , retirado de (LG PISE-A040A, 2015)	11
Figura 10 - Exemplo de um <i>driver</i> com redução de fluxo em percentagem em relação ao período de funcionamento, retirado de (Lumec, 2010)	13
Figura 11 - Exemplo de uma instalação com Sensores, retirado de (Schröder, 2013)	14
Figura 12 - Exemplo de funcionamento de redução por tensão, retirado de (Reverberi, 2018).....	15
Figura 13 – Sistema de controlo por PLC	16
Figura 14 - Exemplo de uma instalação com protocolo <i>ZigBee</i>	17
Figura 15 - Exemplo de rede LPWAN	18
Figura 16 - Instalação com dispositivos ligados com GSM(2G/3G)	19
Figura 17 - Arquitetura do CityTouch, retirado de (Philips Lighting, 2018a)	21
Figura 18 – Vários tipos de controladores, todos com as mesmas funcionalidades, (Philips CityTouch, 2018).....	22
Figura 19 - Arquitetura Telensa PLANet , retirado de (Telensa, 2018)	23
Figura 20 - Arquitetura Owlet Nightshift, retirado de (Owlet Nightshift, 2016)	25
Figura 21 – SeCo (à esquerda) e LuCos (à direita)	26
Figura 22 - Arquitetura Owlet IoT, retirado de (Owlet IOT, 2018)	27
Figura 23 - Luco P7CM	27
Figura 24 - Instalação da FCT	47
Figura 25 – Voltana 3 (à esquerda) e Teceo 1 (à direita)	48
Figura 26 - Rua com a instalação piloto à noite	48

Figura 27 - Visão da Luminária Tipo A3 no sistema de telegestão	50
Figura 28 – Visão da luminária LED02 a 40% do fluxo	52
Figura 29 - Gráfico dos consumos de energia para as 3 soluções.....	61
Figura 30 - Gráfico com o custo anual em energia de cada tipo de luminária, por solução	63
Figura 31 - Gráfico do custo inicial para as soluções propostas	64
Figura 32 - Gráfico com a rentabilização de ambas as soluções em anos	65
Figura 33 - Consumo durante os 5 dias do projeto piloto	66

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Sistemas de Telegestão de Iluminação Pública	29
Tabela 2 - Quantidade de luminárias na FCT	32
Tabela 3 - Potência estimada por luminária.....	33
Tabela 4 - Consumo energético para um dia de funcionamento	33
Tabela 5 - Consumo energético para um ano de funcionamento	33
Tabela 6 - Custo da instalação atual por dia.....	34
Tabela 7 - Custo de energia da instalação atual por ano	34
Tabela 8 - Lista das luminárias standard LED	35
Tabela 9 - Quantidade de luminárias LED	36
Tabela 10 - Valor das potências das luminárias LED	36
Tabela 11 - Consumos energéticos com luminárias LED por dia	37
Tabela 12 - Consumos energéticos com luminárias LED por ano.....	37
Tabela 13 - Custo da energia para a solução LED por dia	38
Tabela 14 - Custo de energia da instalação LED por ano	38
Tabela 15 - Preços estimados para as luminárias LED	39
Tabela 16 - Investimento inicial estimado: Custo com instalação.....	39
Tabela 17 - Retorno do investimento para as Luminárias LED em anos	40
Tabela 18 - Energia consumida durante um dia	42
Tabela 19 - Consumo de energia para solução LED com telegestão durante um ano	42
Tabela 20 - Custo de energia por dia, com telegestão	43
Tabela 21 - Custo de energia para um ano, com telegestão	43
Tabela 22 - Preços estimados para as luminárias LED com sistema de telegestão	44
Tabela 23 - Investimento inicial para iluminação LED com telegestão.....	44
Tabela 24 - Retorno do investimento em luminárias LED com telegestão	45
Tabela 25 - Valores das potências das luminárias para vários fluxos luminosos.....	49
Tabela 26 - Nº de horas de funcionamento e energia consumida	50
Tabela 27 - Valores médios para os 5 dias de funcionamento	51

Tabela 28 - Funcionamento LED01 de 5 para 6 de setembro	52
Tabela 29 - Funcionamento LED01 de 6 para 7 de setembro	53
Tabela 30 - Funcionamento LED01 de 7 para 8 de setembro	53
Tabela 31 - Funcionamento LED01 de 8 para 9 de setembro	53
Tabela 32 - Funcionamento LED01 de dia 9 para 10 de setembro	54
Tabela 33 - Valores médios para os 5 dias de funcionamento	54
Tabela 34 - Funcionamento LED01 de dia 5 para 6 de setembro	55
Tabela 35 - Funcionamento LED01 de dia 6 para 7 de setembro	55
Tabela 36 - Funcionamento LED01 de dia 7 para 8 de setembro	55
Tabela 37 - Funcionamento LED01 de dia 8 para 9 de setembro	56
Tabela 38 - Funcionamento LED01 de dia 9 para 10 de setembro	56
Tabela 39 - Valores médios para os 5 dias de funcionamento	56
Tabela 40 - Funcionamento LED01 de dia 5 para 6 de setembro	57
Tabela 41 - Funcionamento LED01 de dia 6 para 7 de setembro	57
Tabela 42 - Funcionamento LED01 de dia 7 para 8 de setembro	57
Tabela 43 - Funcionamento LED01 de dia 8 para 9 de setembro	58
Tabela 44 - Funcionamento LED01 de dia 9 para 10 de setembro	58
Tabela 45 - Valores médios para 5 dias de funcionamento.....	58
Tabela 46 - Funcionamento LED01 de dia 5 a 10 de setembro	59
Tabela 47 - Valores médios para 5 dias de funcionamento.....	59
Tabela 48 - Rentabilização do investimento LED vs. LED com telegestão	65

Notações

2G	Segunda geração de comunicações móveis
3G	Terceira geração de comunicações móveis
AC	<i>Alternating current</i> - Corrente Alternada
CCT	<i>Color Correlated Temperature</i>
DALI	<i>Digital Addressable Lighting Interface</i>
DC	<i>Direct current</i> – Corrente contínua
DMX	<i>Digital Multiplex</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
IEEE	<i>Institute of Electric and Electronic Engineers</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
IRC	Índice de reprodução da cor
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
LPWAN	<i>Low Power Wide Area Network</i>
LuCo	<i>Luminaire Controller</i>
NEMA	<i>National Electrical Manufacturers Association</i>
PLC	<i>Power Line Communication</i>
RGB	<i>Red, Green and Blue</i>
SeCo	<i>Segment Controller</i>
UNB	<i>Ultra Narrow Band</i>

1 Introdução

Hoje em dia, existe cada vez mais a preocupação com o ambiente que nos rodeia e isso também se reflete na maneira como se começa a olhar para a gestão das nossas cidades.

Há 20 anos, por exemplo, não existia a proibição dos automóveis mais antigos, logo, mais poluentes em zonas históricas das cidades, não havia a preocupação com a criação de novos espaços verdes nem a promoção na utilização do transporte público em vez do automóvel.

Ao nível da iluminação pública, não existia qualquer preocupação com o tipo de equipamentos instalados, o que era importante era ter as ruas bem iluminadas, principalmente nas grandes cidades. Nos dias de hoje tudo isso mudou, a iluminação é cada vez mais *green*, mais *smart* e isso começa a trazer grandes vantagens para todos.

1.1 Motivação

O futuro das cidades passará pelas plataformas *Smart Cities*. Os projetos que estão a ser pensados e desenvolvidos para diferentes segmentos de uma cidade, já têm em conta a preocupação de estarem inseridos dentro de uma plataforma *Smart City*, ou então de estarem preparados para estarem inseridos numa, no futuro. O conceito é relativamente simples, aplicar tecnologias de informação e comunicação a serviços que normalmente não os têm, tornando assim as cidades dotadas de “inteligência” para reduzir custos operacionais e ter um maior controlo de todos os serviços que as cidades disponibilizam, aumentando assim a qualidade de vida nas áreas urbanas e tornando as cidades mais sustentáveis (Cenedese, Zanella, Vangelista, & Zorzi, 2014).

No futuro será possível, através de uma plataforma, saber qual o nível de enchimento que os contentores do lixo têm, qual o nível dos depósitos de distribuição de água e alterar os níveis de iluminação de uma parte da cidade ou de uma rua. A ideia é ter todos estes serviços conectados numa plataforma de gestão e gerir todos esses serviços a partir daí, será a geração das cidades ligadas com o IoT (*Internet of Things*).

A iluminação pública é uma das áreas que irá ser integrada neste novo conceito das Cidades Inteligentes. Atualmente é constituída por tecnologias antigas, desde a tradicional lâmpada de vapor de mercúrio à lâmpada de vapor de sódio, que liga ao anoitecer e desliga quando o sol volta a nascer. Este controlo é efetuado através de um relógio astronómico ou através de uma célula fotoelétrica colocados no posto de transformação.

O elevado consumo energético deste tipo de tecnologia tornou-se insuportável para alguns municípios com problemas económicos. Como forma de poupança alguns deles optaram por antecipar a hora em que a iluminação pública desligava, em alguns casos a iluminação estava apenas ligada até ao início da madrugada (01h00), noutros optou-se por ter a iluminação ligada de forma intercalada. No entanto esta solução não é de todo a ideal, por questões ligadas à segurança dos cidadãos, quer pela prevenção da criminalidade, como para o tráfego de veículos e pedestres.

O futuro passa por trocar toda a iluminação tradicional por iluminação LED, aliás em algumas cidades esse processo já começou a ser realizado. Se, hipoteticamente, esta troca fosse efetuada em toda a iluminação existente as poupanças poderiam chegar aos 80% (Müllner & Riener, 2011). A iluminação LED tem várias vantagens relativamente à iluminação tradicional, sendo uma tecnologia com maior eficiência, um consumo energético muito inferior ao das lâmpadas tradicionais e, como não têm tempo de aquecimento ligam quase instantaneamente. A sua vida útil é bastante superior reduzindo assim custos de manutenção e de substituição e a possibilidade da variação do seu fluxo luminoso também resulta em poupanças adicionais. Como não são utilizados gases na sua composição a tecnologia LED é menos poluente que as lâmpadas tradicionais (NOGUEIRA et al., 2014)

Ao conceito *Smart City* está intrínseco o de sistemas de telegestão. Estes sistemas são ferramentas para gerir, controlar e monitorizar a iluminação pública. Através deste tipo de sistemas é possível controlar a luminária individualmente, por grupo ou por rua; saber quanto a luminária está a consumir a nível energético; saber a que horas ligou ou desligou e; saber se está com algum problema de funcionamento.

Os sistemas de controlo mais usados são os que trabalham usando cabo de comunicação, PLC (*Power Line Communication*) (Li, Wu, & He, 2010) e os que usam rádio frequência (Vaz, 2010). Usando este tipo de sistemas tem-se uma informação mais detalhada de todos os pontos de luz, resultando assim numa maior facilidade em termos de manutenção dos equipamentos de iluminação e de deteção de problemas na instalação. A possibilidade de variação do fluxo luminoso da luminária, permite baixar o mesmo nas horas de menor afluência nas ruas, aumentando as poupanças energéticas e a vida útil das luminárias. Com este tipo de sistemas de controlo associados à iluminação LED é possível diminuir bastante os consumos energéticos com a iluminação pública.

1.2 Objetivos

Esta dissertação tem como objetivo o estudo das tecnologias associadas às grandes mudanças que estão a ocorrer na iluminação pública. Fazer uma descrição da tecnologia LED e de alguns sistemas que são usados no controlo da mesma e provar as suas poupanças a nível energético.

Assim, para conseguir este objetivo será necessário executar os seguintes pontos:

- Estudo teórico da tecnologia LED;
- Estudo teórico dos vários tipos e arquiteturas de Sistemas de Controlo bem como dos componentes que os constituem;
- Descrição de algumas Plataformas de Telegestão de iluminação pública;
- Projeto com estudo económico, com tempo estimado de recuperação do investimento, com e sem sistemas de controlo
- Realização de um projeto piloto na FCT, com uma luminária com o fluxo no máximo e outras com redução de fluxo ao longo da noite;
- Análise e Avaliação dos resultados obtidos no projeto piloto.

1.3 Organização da dissertação

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos, abaixo descritos:

- Capítulo 1: Introdução

Neste capítulo é realizada uma introdução ao trabalho, referindo as motivações para a realização deste trabalho e os objetivos que se pretendem atingir.

- Capítulo 2: Tecnologias utilizadas em iluminação

Neste capítulo, é efetuada uma revisão da tecnologia que ainda hoje é utilizada em iluminação pública, desde a lâmpada aos sistemas de controlo.

- Capítulo 3: Estado da Arte

Neste capítulo, é elaborada uma descrição de algumas das principais plataformas de telegestão utilizadas em iluminação pública.

- Capítulo 4: Estudo económico de substituição para luminárias LED

Neste capítulo, é realizado um estudo económico de substituição de luminárias com tecnologias de lâmpada para luminárias com tecnologia LED, tendo ou não telegestão e qual o prazo de amortização do investimento.

- Capítulo 5: Projeto Piloto na FCT

Neste capítulo, é feita a instalação de 4 luminárias em uma das ruas da FCT, com sistema de telegestão integrado para posterior análise.

- Capítulo 6: Análise e Resultados

Neste capítulo é elaborada a recolha e análise dos resultados do projeto piloto, com os cálculos obtidos no estudo económico realizado no capítulo 4.

- Capítulo 7: Conclusões e Trabalho Futuro

Neste último capítulo apresentam-se as conclusões retiradas da realização desta dissertação e projeta-se qual o trabalho a realizar no futuro.

2 Tecnologias utilizadas em iluminação

Neste capítulo, serão abordados os principais conceitos utilizados no desenvolvimento desta dissertação. São assim enumerados vários elementos constituintes da iluminação pública hoje em dia, e os conceitos que já fazem e, se prevê, que farão parte do futuro da mesma.

2.1 Lâmpadas

A iluminação pública em Portugal ainda é na sua grande maioria constituída por lâmpada de descarga. Basta andar pelas estradas ou ruas, para se perceber que ainda existem muitas luminárias com esta tecnologia. Nas lâmpadas o fluxo luminoso é produzido pela passagem de corrente elétrica através de uma mistura gasosa composta por gases inertes e vapores metálicos (Fernando José Nogueira, 2013). As lâmpadas necessitam de ser instaladas com um balastro que tanto pode ser eletrónico como ferromagnético e dependendo da tecnologia podem necessitar de arrancador ou condensador.

2.1.1 Lâmpada de Vapor de Sódio

A lâmpada de vapor de sódio é a tecnologia mais utilizada em Portugal. Esta é um tipo de lâmpada monocromático, de cor amarela com baixo IRC (índice de reprodução de cor) não permitindo uma boa reprodução de cores. São lâmpadas com elevada eficiência energética e que apresentam uma durabilidade elevada quando comparadas com outros tipos de lâmpadas, cerca de 24000 horas de funcionamento. Estas lâmpadas têm a possibilidade de variação de fluxo luminoso quando instaladas com balastros eletrónicos associados. Existem as lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão e as de baixa pressão, sendo que a lâmpada de alta pressão com adição de mercúrio consegue melhorar o seu IRC(Pereira, 2016) contudo, já não é utilizada.



Figura 1 - Lâmpada de Vapor de Sódio

2.1.2 Lâmpada de Vapor de Mercúrio e Lâmpada de Iodetos Metálicos

A lâmpada de vapor de mercúrio ainda se encontra em algumas instalações em Portugal, principalmente em instalações mais antigas, embora atualmente a sua instalação já não seja permitida pela legislação existente para o efeito. A lâmpada de iodetos metálicos foi criada a partir da lâmpada de mercúrio, adicionando iodetos como o índio e sódio melhorando assim a nível de eficiência e o nível de IRC desta lâmpada (Costa, 2013). No entanto, são lâmpadas com um preço médio acima de 40€ e com baixa vida útil, cerca de 12000 horas. Este tipo de lâmpada necessita de um arrancador, pois apresenta uma impedância interna muito elevada, demorando inclusivé algum tempo a acender quando é ligada.



Figura 2 - Lâmpada de Iodetos Metálicos

2.2 LED – Díodo Emissor de Luz

Apenas se começou a olhar para o LED como uma alternativa fiável para a iluminação pública quando, durante a década de 90, foi descoberto o LED azul de grande eficiência, que serviu como grande motor para os avanços da tecnologia que se seguiram e que permitiram o surgimento do LED branco de alta potência. Hoje em dia o LED possibilita a redução da potência instalada na iluminação pública, melhoria da qualidade luminotécnica, fácil incorporação de sistemas de controlo o que resulta em luminárias com melhores rendimentos e maior eficiência energética.

O LED é constituído por material semicondutor, no centro encontra-se a junção $p-n$, que é a camada de transição entre o lado do ânodo e o lado do cátodo. Quando o material semicondutor é atravessado por uma corrente elétrica os eletrões conseguem atravessar a região de depleção e ao

encontrarem buracos situados na outra camada irão libertar energia, ou seja, libertação de fótons. Na figura 3 é representado o processo.

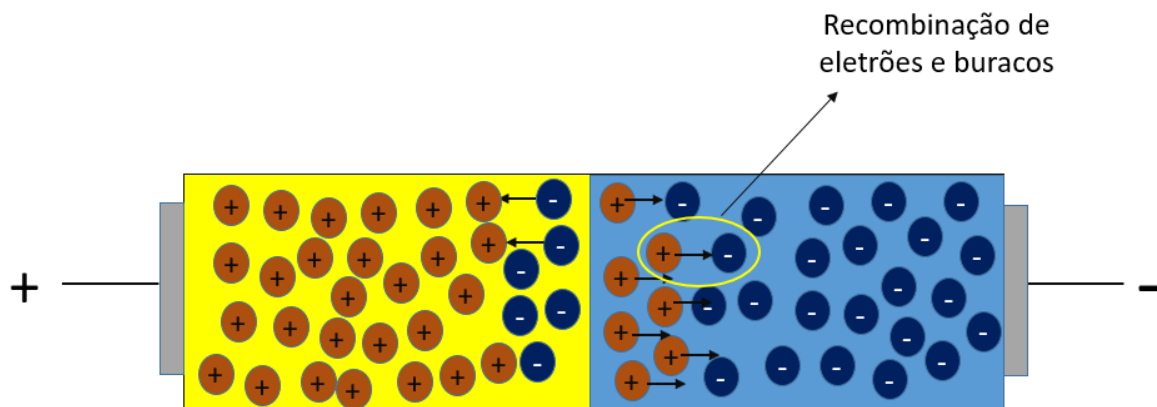


Figura 3 - Junção p-n

Os leds mais utilizados em iluminação são os PC-LEDs (*Phospor converted LEDs*), onde existem 3 tipos de LEDs: baixa potência, média potência e alta potência. Os LEDs de baixa potência ou LEDs de alto brilho são utilizados em eletrônica de consumo, como pontos luminosos com informação sobre se estão ligados ou na indústria automóvel. Consomem no máximo 0,1W e com fluxo luminoso inferior a 5 lm.

Os LEDs de média potência são utilizados em sinalização luminosa e em marcações luminosas, consomem até 0,5W por unidade e um fluxo luminoso entre 20 a 60 lm.

Os leds de alta potência são os leds utilizados em vários tipos de aplicações de iluminação, têm um consumo superior a 1W e conseguem obter fluxos luminosos superiores a 100lm.



Figura 4 - Tipos de LED: Baixa potência, média potência e alta potência

Os LEDs mais utilizados em iluminação são os de alta potência, com correntes nominais típicas de 300mA até 1,5A (Rodrigues et al., 2011), são brancos por adição de fósforo e com isto, a maioria dos fótons azuis do LED são absorvidos e assim resulta na luz branca. Desta mistura surge a temperatura de cor do LED, consoante a quantidade de fósforo utilizada. A temperatura de cor é muito importante na iluminação pública.

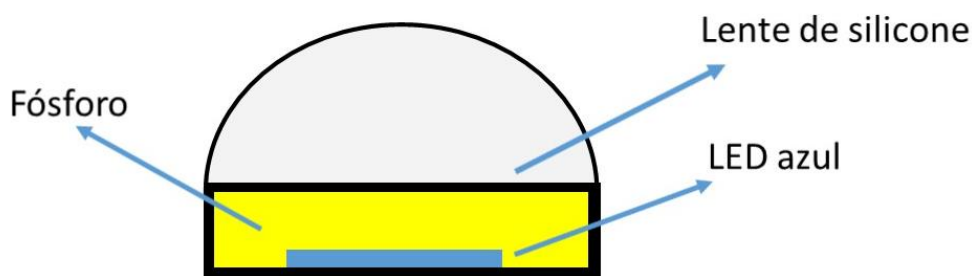


Figura 5 - Led branco

2.2.1 Temperatura da cor

A temperatura de cor dos LEDs vai desde o branco quente, com valores próximos dos 2700K (2700K-3000K), branco neutro com valores de 4000K (3500K-4100K) e branco frio (5000K -6500K). A unidade de medida é o Kelvin (K). Quanto mais alta for a temperatura de cor (TC) mais clara é a tonalidade de cor da luz.

Estes valores são tidos em consideração para a zona onde irá ser efetuada uma aplicação de luminárias LED. Numa estrada ou em zonas viárias normalmente são aplicadas luminárias com TC superior a 4000K. Numa zona residencial, num bairro, ou até num centro histórico a cor recomendada a utilizar é o branco quente, pois considera-se que esta cor é mais confortável.

Um dos fatores que tem sido mais utilizado para criticar a TC dos LEDs tem a ver com a poluição luminosa, é entendido que acima dos 3000K estes causam mais poluição luminosa derivado ao facto de existir uma maior presença de luz azul.

Ultimamente também têm sido efetuados alguns estudos sobre a incidência da luz azul no quotidiano das pessoas, um deles foi feito pela AMA (American Medical Association, 2016) onde se afirmava que a emissão da luz azul dos Leds com temperatura de cor em branco frio poderia causar cansaço e desconforto no olho humano, inclusive afetando os ciclos de sono das pessoas quando expostas à tecnologia com esta cor. Este artigo levou à procura de soluções com temperaturas de cor mais baixas e mais confortáveis para o olho humano, com o branco quente a ser a cor mais procurada.



Figura 6 - Temperatura de cor do LEDs, retirado de (Schröder, 2016a)

2.2.2 Eficiência e vida útil

No momento, os LEDs são a tecnologia mais atrativa e com mais potencial no mercado de iluminação. Aliando uma elevada eficiência energética ao seu baixo consumo, conseguem ser soluções bastante económicas a longo prazo. No entanto, a eficiência do mesmo é afetada pela temperatura de cor, assim um LED de uma temperatura de cor quente (2700K) será menos eficiente que um LED de temperatura de cor neutra. No entanto, estas diferenças são cada vez menores, e acredita-se que num curto espaço de tempo este problema seja atenuado ou resolvido.

A vida útil do LED pode ser até 10 vezes superior à vida útil de uma lâmpada de vapor de sódio (Joshi, Madri, Sonawane, Gunjal, & Sonawane, 2013) o que levará a uma redução significativa dos custos de manutenção de uma instalação com este tipo de tecnologia, face a uma instalação tradicional. No entanto, a vida útil poderá ser afetada pela temperatura de funcionamento da luminária, caso a estrutura de dissipação da luminária não esteja bem dimensionada e preparada. Com o aumento da temperatura, a vida útil dos LEDs irá baixar substancialmente, como é demonstrado na figura 8.

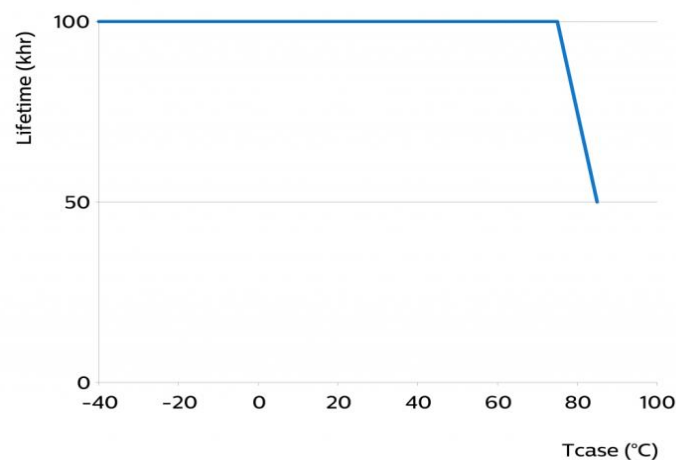


Figura 7 - Relação entre o tempo de vida útil e a temperatura da luminária, retirado de (Philips Lighting, 2018b)

Ao contrário das lâmpadas, numa luminária LED a emissão de luz é muito mais eficaz no sentido de apenas iluminar aquilo que se pretende. Utilizando-se lentes óticas, que podem ter várias formas consoante o que é pretendido, a luz é direcionada exatamente para o plano, e não é emitida em 360º como numa lâmpada. Com isto também se podem utilizar luminárias com fluxo luminoso inferior, mas com resultados iguais ou superiores a luminárias com lâmpada que possuem fluxos luminosos superiores. A poluição luminosa também reduz com a utilização dos LEDs.

2.2.3 Tecnologia amiga do ambiente

Os LEDs são considerados como a tecnologia menos poluente na iluminação pública, visto que na sua composição não existe mercúrio, vapor de sódio ou qualquer outro tipo de gás, reduzindo os níveis de CO₂ emitidos pela iluminação desta tecnologia. Também o seu consumo energético reduzido, quando comparado com iluminação com lâmpadas, é apontado como um fator de apoio à introdução desta tecnologia (Magno, Polonelli, Benini, & Popovici, 2014). A utilização da iluminação LED também reduz a poluição luminosa.

2.2.4 Drivers

Ao contrário das lâmpadas antigas que eram alimentadas por corrente AC, apenas necessitando de alguns componentes de auxílio ao balastro no momento em que eram ligadas, como ignitores e reatores, os LEDs necessitam de ser alimentados por corrente DC. Neste caso é necessário a utilização de um *driver* para transformar a corrente AC em DC e assim poder acionar um conjunto de LEDs. O *driver* normalmente é escolhido com base nos LEDs utilizado pela luminária, podendo ser de dois tipos: corrente constante ou tensão constante (Balasubramanian, Akshay, & Team, 2017).

Na iluminação pública, normalmente são utilizados os *drivers* de corrente constante sendo esta adequada para o tipo de potência máxima com que se pretende que a luminária funcione. Atualmente, já é raro ser aplicado o *driver standard*, que apenas faz a conversão AC/DC e não tem qualquer tipo de controlo. Os *drivers* utilizados pelos principais fabricantes de luminárias LED possuem vários tipos de opções de controlo e também várias proteções elétricas.

Um fator importante nos drivers de iluminação LED é o seu elevado Fator de Potência, sempre muito perto de 1. Muitos *drivers* têm a possibilidade de compensar a depreciação dos LEDs, mantendo assim o fluxo constante por toda a vida útil da luminária, outros têm a possibilidade de programar perfis automáticos para redução de fluxo luminoso durante as suas horas de funcionamento, e ainda têm a possibilidade de se conectarem a outro tipo de equipamentos para receberem destes ordens e efetuarem assim reduções de fluxo.

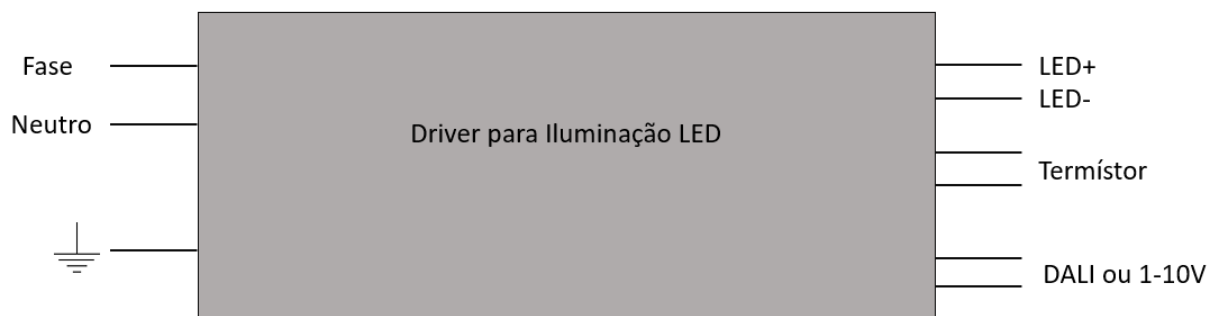


Figura 8 – Diagrama de *Driver* de iluminação LED

2.3 Protocolos de Controlo na iluminação LED

2.3.1 Protocolo 0-10V ou 1-10V

Este método de controlo é muito utilizado na iluminação LED, bastando para isso que a luminária esteja equipada com um *driver* com o protocolo 0-10V ou 1-10V. Necessita de cablagem dedicada para controlo do sinal, que é feito por outro componente ou dispositivo.

Estes dispositivos estão concebidos para responder a variações entre 0 e 10V, pelo que a intensidade do fluxo de saída da luminária terá em conta o valor da tensão recebido. Se o valor for de 10VDC a saída para os LEDs estará próxima dos 100%, se o valor for 0VDC então o fluxo de saída será o valor mínimo do *driver*. Dependendo sempre da especificação de cada *driver*, o valor mínimo reside entre 1% e 10%. O protocolo 0-10V obedece à norma IEC *standard* 60929 Annex E2 (Yan, 2013).

Na figura 10 está representado a o valor em percentagem da corrente de saída para os LEDs em função do valor da tensão entre 0V e 10V.

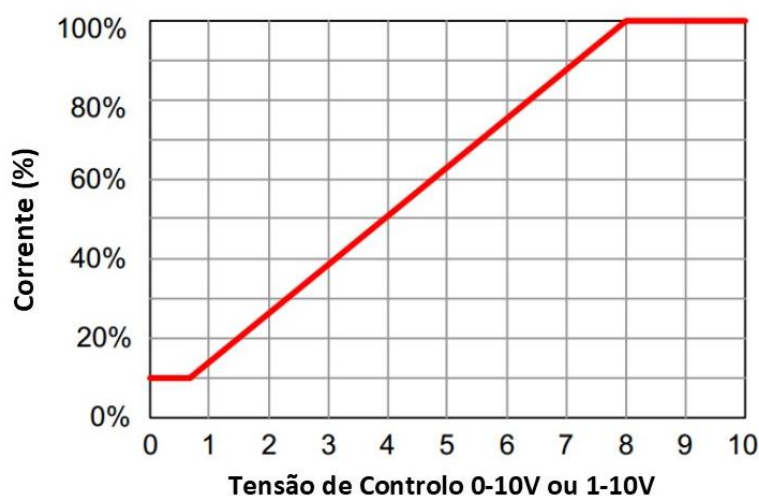


Figura 9 – Relação entre a corrente de saída(percentagem)e a tensão de controlo , retirado de (LG PISE-A040A, 2015)

2.3.2 Protocolo DALI

DALI (*Digital Addressable Lighting Interface*) é outro dos protocolos bastante utilizados em iluminação. Este protocolo foi criado por fabricantes de iluminação com o objetivo de normalizar interfaces digitais para *drivers* (Wu, Wu, & Liu, 2007).

Tal como o protocolo anterior necessita de cablagem dedicada para o seu funcionamento. É uma comunicação bidirecional em que o dispositivo final (normalmente o *driver* da luminária LED) terá um endereço na rede DALI e envia uma mensagem para dizer qual o seu estado (Archana, Yasin, & Bhagya, 2017).

A transmissão de dados obedece à codificação de Manchester de forma a minimizar erros obtidos por ruído vindo da proximidade de cabos elétricos.

2.3.3 Outros Protocolos

Os dois protocolos anteriormente descritos juntamente com o protocolo DMX são indubitavelmente os mais utilizados em iluminação (Sinopoli, 2010). Existem, no entanto, outras formas que são utilizadas para controlo de fluxo na iluminação. Alguns *drivers* têm a possibilidade de fazerem variação do fluxo luminoso através da sua alimentação, ou seja, se a tensão de alimentação for abaixo dos 230VAC os *drivers* irão reduzir a sua saída para os LEDs, não sendo necessário um cabo suplementar, bastando o cabo de alimentação.

Quanto ao protocolo DMX (*Digital Multiplex*), é um protocolo digital muito utilizado em espetáculos e música, que foi adaptado para a iluminação. A sua aplicabilidade é feita normalmente em instalações com iluminação RGB e requer cablagem dedicada. Neste caso, cablagem blindada pois o sinal é bastante afetado por ruído.

2.4 Sistemas de Controlo

Nesta secção serão abordados vários tipos de sistemas de controlo usados em iluminação pública maioritariamente por LED, pois é possível aplicar este tipo de soluções a luminárias com lâmpada, no entanto sem grande eficácia, devido às limitações das mesmas.

O método mais comum é o ligar da iluminação quando anoitece e desligar quando o sol volta a nascer, utilizando sensores crepusculares ou relógios astronómicos.

Contudo, já começam a existir formas adicionais de controlo numa instalação de iluminação pública.

2.4.1 Drivers com fluxo reduzido ao longo da noite

Com a chegada da iluminação LED, vieram também componentes dotados de inteligência. Os *drivers* possuem algumas possibilidades de controlo sobre o fluxo luminoso da luminária LED. A mais utilizada hoje em dia é a redução do fluxo luminoso ao longo do período noturno, principalmente em horas em que as zonas a iluminar estão com menor afluência, na figura 11 está representado o seu princípio de funcionamento.

Nos *drivers* mais recentes a grande maioria dos fabricantes adiciona esta opção. Empresas como a Philips, Osram ou LG têm esta opção em quase todos os seus modelos para iluminação exterior. Esta é quase sempre a opção mais escolhida quando não existe um controlo mais sofisticado na instalação, podendo em alguns casos serem adicionados até cinco patamares de redução durante a noite.

Este tipo de opções traz consigo poupanças adicionais bastante interessantes a uma instalação com luminárias LED.

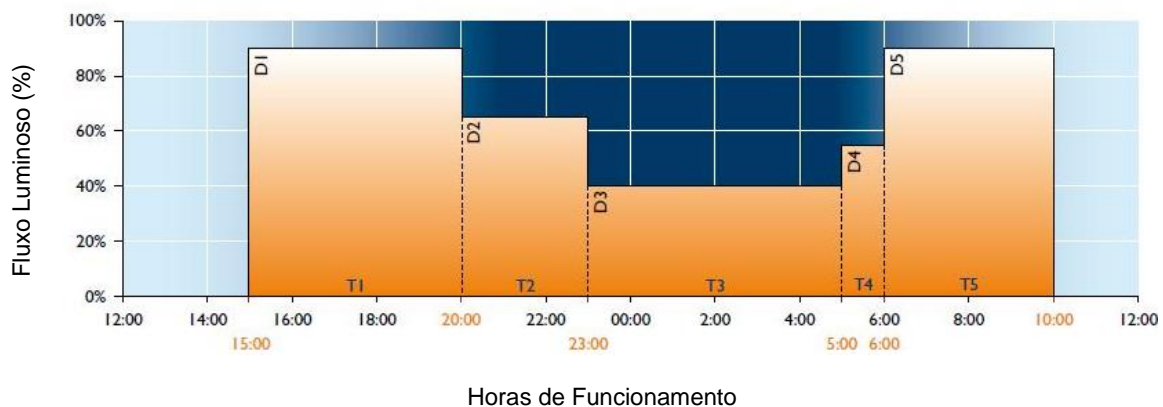


Figura 10 - Exemplo de um *driver* com redução de fluxo em percentagem em relação ao período de funcionamento, retirado de (Lumec, 2010)

2.4.2 Sensores

Juntamente com a aposta na iluminação LED apareceu também a possibilidade de se utilizar sensores de deteção. Os sensores, aliados a um *driver* que possibilite redução de fluxo são também uma excelente escolha para instalações em que se pretenda um controlo individual da luminária, tornando também a instalação mais interativa com o utilizador da via. Esta opção pode até ser mais rigorosa no horário da redução de fluxo, aumentando o mesmo sempre que o sensor detete a presença de, por exemplo, um peão.

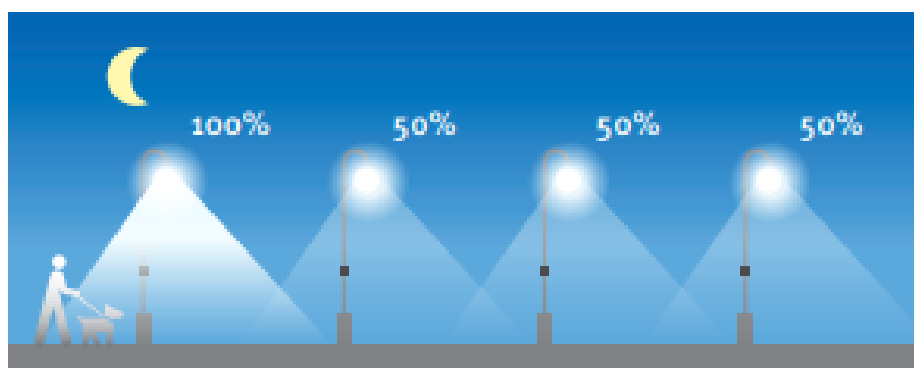


Figura 11 - Exemplo de uma instalação com Sensores, retirado de (Schröder, 2013)

2.4.3 Redução do fluxo luminoso por redução da tensão

Esta tecnologia já tem alguns anos e é bastante utilizada com lâmpadas de vapor de sódio. O funcionamento é relativamente simples, ao longo do período noturno vai-se baixando a tensão de saída para a instalação permitindo assim poupanças nas horas de menos tráfego. Aproveitando a infraestrutura elétrica já existente, evita-se novos custos para criação de uma instalação dedicada, sendo apenas necessário colocar um armário no circuito dedicado à iluminação pública.

É uma tecnologia que está presente em algumas zonas de Portugal, podendo também ser utilizada com luminárias LED, desde que os *drivers* destas estejam configurados para reduzirem o fluxo luminoso quando detetarem redução na tensão de alimentação das luminárias. É uma tecnologia simples e eficaz quando a rede elétrica em que está instalada não apresenta problemas.

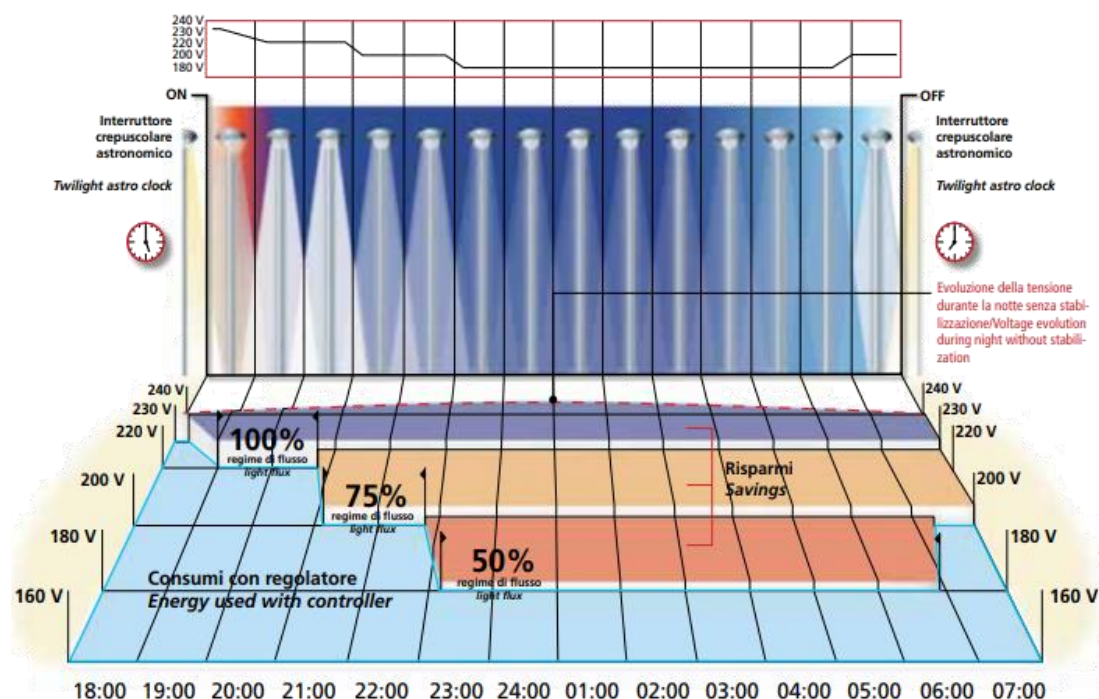


Figura 12 - Exemplo de funcionamento de redução por tensão, retirado de (Reverberi, 2018)

2.4.4 PLC

O PLC (*Power Line Communication*) é um dos sistemas de controlo mais conhecidos para controlar sistemas de iluminação (Li et al., 2010). Não é necessário criar qualquer tipo de estrutura uma vez que usa a infraestrutura da rede elétrica para comunicação através de modulação de onda por uma determinada frequência (NOGUEIRA et al., 2014).

Tem como base uma hierarquia mestre-escravo, sendo o mestre que irá gerir os controladores que estão nas luminárias a controlar, os escravos. O mestre fica colocado nos postos de transformação de iluminação pública à saída do circuito elétrico para as luminárias. Cada controlador de luminária dará ordens ao *driver* utilizando os protocolos DALI ou 1-10V.

Um dos problemas que afeta este tipo de sistemas é o ruído, que prejudica significativamente a transmissão de dados entre controladores (Yousuf & El-shafei, 2008). Por esta razão e também pela crescente aposta em sistemas sem fios esta solução tem vindo a ser cada vez menos utilizada.

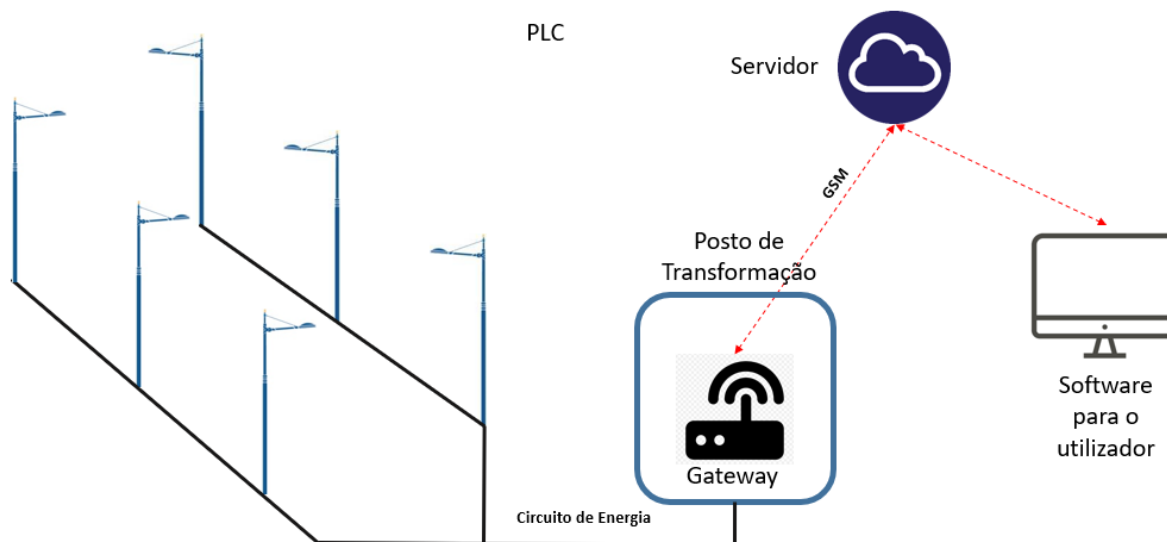


Figura 13 – Sistema de controlo por PLC

2.4.5 ZigBee

Este é um dos protocolos mais utilizados para comunicações sem fios. Desenvolvido pela *ZigBee Alliance* com a especificação IEEE 802.15.4 suporta as três tipologias em rede mais utilizadas que são em estrela, em malha e em árvore (Seca, 2013). É, principalmente, encontrado em aplicações nas áreas de gestão de energia, automação de edifícios, domótica e até em monitorização clínica.

No caso da iluminação, é uma solução muito bem vista devido ao seu baixo consumo de energia, fácil implementação, baixa transição de dados, capacidade para formar uma rede robusta e segura de comunicações entre equipamentos que usam esta tecnologia (Deng, Xiao, & Xue, 2015).

O *ZigBee* também funciona hierarquicamente onde o controlador (mestre) é o responsável por toda a rede, enviando comandos e recebendo *feedback* de controladores de luminária (escravos) que estão na mesma rede. Na figura 15 está descrito este procedimento.

As bandas de frequência utilizadas pelo *ZigBee* são 2,4GHz, 868MHz e 915MHz com uma largura de banda entre os 20-250kbps (Jun & Wei, 2010) permitindo alcances de comunicação entre dispositivos até 100m.

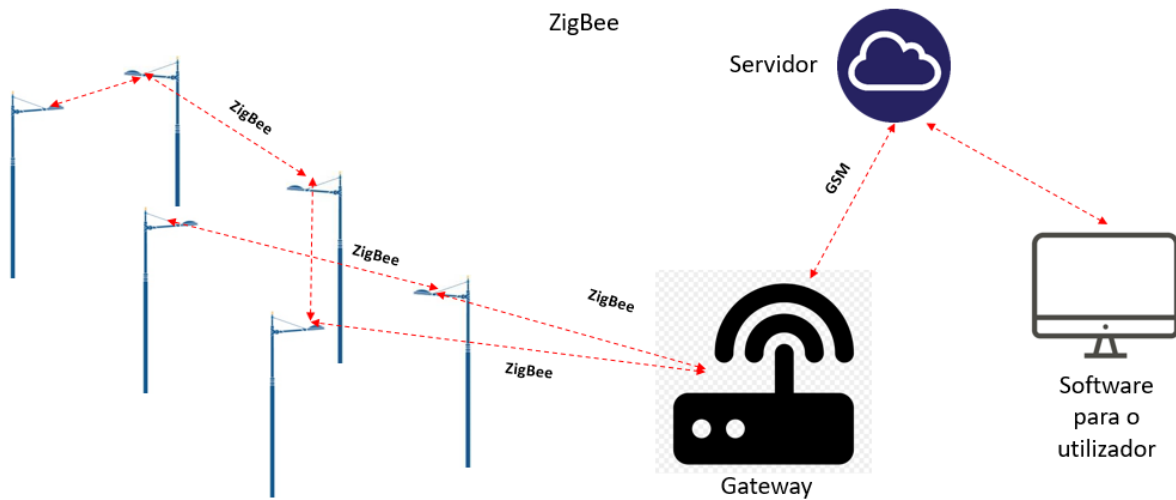


Figura 14 - Exemplo de uma instalação com protocolo *ZigBee*

2.4.6 LPWAN

Low Power Wide Area Network (LPWAN) é um tipo de tecnologia sem fios que está a ser muito utilizado para aplicações em IoT (*internet of things*). Esta tecnologia permite comunicações a longas distâncias e consegue ter milhares de dispositivos na mesma rede (Patel & Won, 2017). Este sistema funciona com uma tipologia de rede em estrela, ou seja, a comunicação é sempre entre a *gateway* e os dispositivos finais, não havendo a possibilidade de os dispositivos finais comunicarem entre si. Esta tecnologia tem um consumo de energia muito baixo, o que em alguns casos significa que uma bateria pode durar anos com uma simples pilha AA (Saravanan, Das, & Iyer, 2017). A velocidade de transmissão de dados é relativamente baixa e estes dispositivos apenas comunicam algumas vezes por dia, sendo esta uma das desvantagens deste tipo de sistemas.

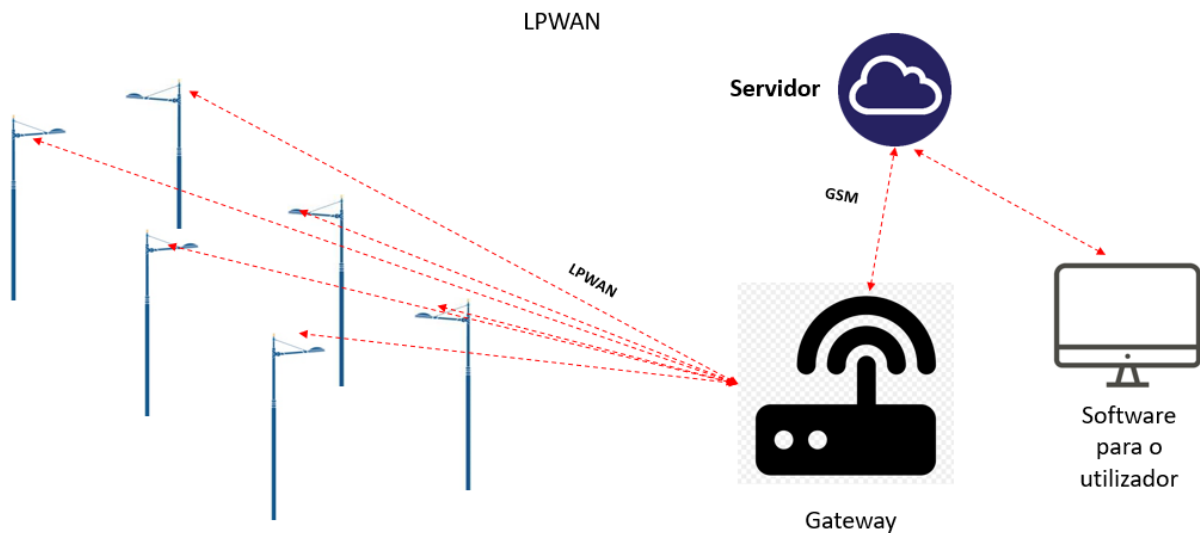


Figura 15 - Exemplo de rede LPWAN

2.4.7 Rede Móvel GSM(2G/3G)

Este tipo de tecnologia é ideal para longas distâncias, também utilizado em aplicações IoT, utiliza a rede de comunicações móveis existente, não sendo necessário criar uma estrutura própria. Tem como vantagem não necessitar de uma *gateway* (mestre), uma vez que todas as comunicações são feitas entre o servidor e o dispositivo final, não havendo por isso limite de dispositivos por instalação.

O consumo de energia, embora baixo (entre 2W e 5W), é superior a outras tecnologias já descritas em cima, e tem capacidade para o envio de grande quantidade de dados dependendo de qual a tecnologia móvel de comunicação que utiliza.

A desvantagem desta tecnologia é o facto de, como utiliza a rede móvel, poderá sofrer com os problemas de congestionamento que por vezes esta apresenta em certas alturas, derivado ao número elevado de equipamentos que estão ligados simultaneamente.

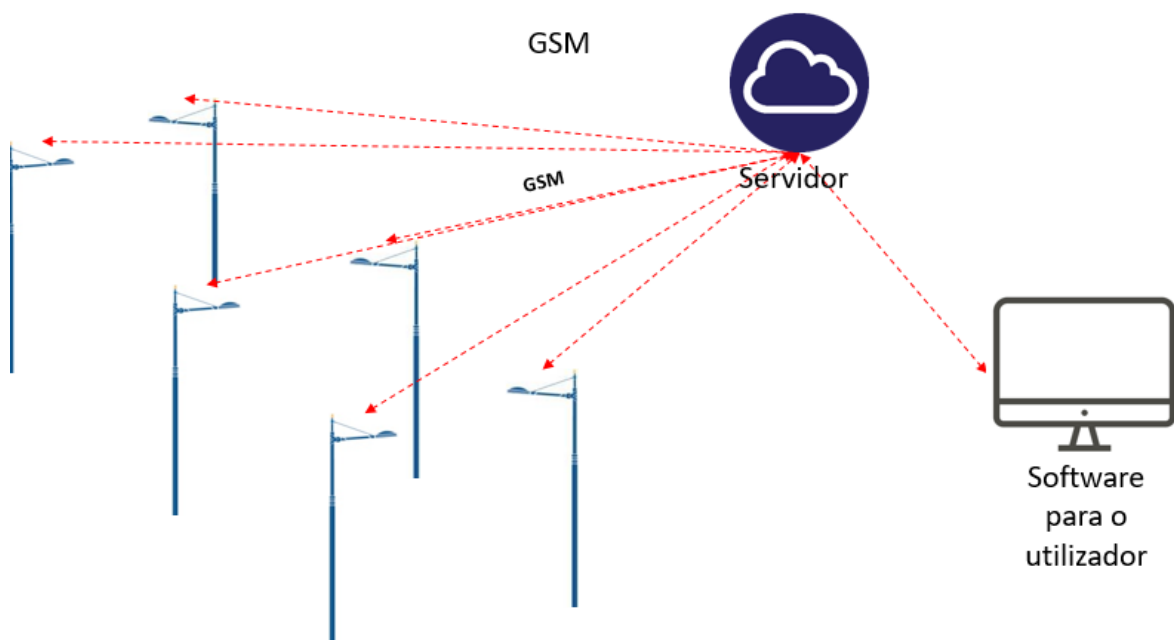


Figura 16 - Instalação com dispositivos ligados com GSM(2G/3G)

2.5 Plataformas de Telegestão

Aliadas às tecnologias de sistemas de controlo que foram anteriormente descritas, surgem as plataformas de telegestão. São ferramentas usadas para gerir instalações de iluminação pública. Estes sistemas permitem gerir as luminárias individualmente ou em grupos utilizando os seus parâmetros operacionais.

Embora não seja um conceito novo, apenas recentemente passou a ser visto como uma solução a ter em conta, devido à corrida que tem sido feita as plataformas *Smart City*. Todos os fabricantes oferecem soluções para que a sua plataforma de telegestão de iluminação seja facilmente integrada com outros serviços nas plataformas inteligentes das cidades.

As Características de um sistema de telegestão de iluminação pública (Fernando J. Nogueira et al., 2014) são:

- Mapa com todos os pontos de luz geograficamente localizados;
- Informação acerca de todas as características das luminárias;
- Possibilidade de definir perfis de fluxo luminoso para diferentes grupos de luminárias;
- Possibilidade de enviar comandos manuais para grupos de luminárias ou luminárias individualmente;

- Informação de todas as grandezas elétricas de cada luminária e o número total de horas que já funcionou;
- Informação sobre qualquer falha nas luminárias da instalação;
- Relatórios de energia e relatórios de avarias de toda a instalação.

Este tipo de plataformas é o futuro da iluminação pública, elas permitem aumentar as poupanças de energia, obter poupanças a nível de manutenção da instalação e têm a possibilidade de conectarem a outros serviços numa plataforma superior, tornando os serviços municipalizados mais eficazes e mais adequados às necessidades de cada cidadão.

2.6 Conclusões

Neste capítulo foram abordadas todas as tecnologias que fazem parte da iluminação desde a fonte de luz, passando por toda a tecnologia que está por trás. Foram também abordados vários tipos de sistemas de controlos mais utilizados em iluminação, bem como aqueles que devido à sua inserção em plataformas de telegestão serão cada vez mais utilizados.

3 Estado da Arte

Atualmente os grandes projetos de iluminação pública em Portugal já contemplam a totalidade ou uma parte significativa de luminárias preparadas com sistemas de controlo e telegestão. Os programas de financiamento da União Europeia, como o Portugal 2020, com fundos para investir na iluminação pública que têm em conta este tipo de tecnologias são um grande incentivo para a sua implementação. Estes sistemas, aliados à iluminação LED, permitem otimizar ainda mais as poupanças energéticas e melhorar a iluminação das cidades ou de algumas zonas rurais.

3.1 Plataformas de telegestão de Iluminação

3.1.1 Philips CityTouch

Este é um sistema desenvolvido pela empresa holandesa Philips, uma das empresas de referência no ramo da iluminação, a nível mundial. A Philips sempre teve muitas soluções para controlo de iluminação e o seu novo sistema para controlo de iluminação pública com o nome Philips CityTouch é apenas mais um exemplo disso. Na figura 17, é apresentada a Arquitetura do Sistema(Philips CityTouch, 2018).

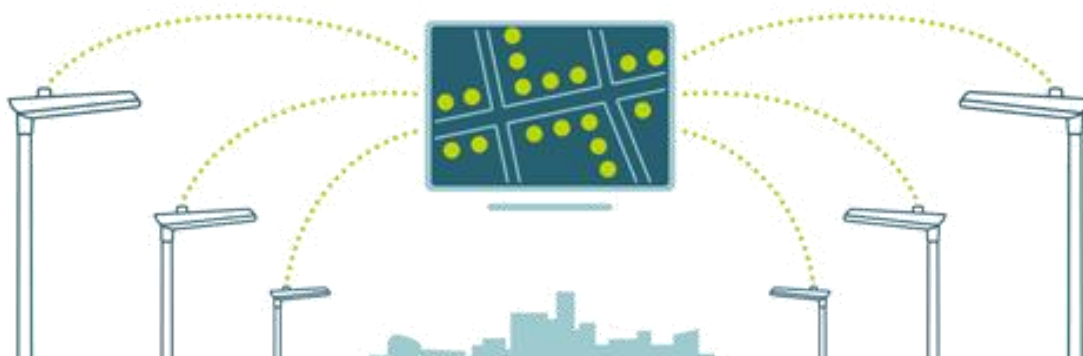


Figura 17 - Arquitetura do CityTouch, retirado de (Philips Lighting, 2018a)

Claramente, virado para as aplicações IoT este sistema não possui qualquer intermediário entre a luminária e o servidor onde estão armazenados os dados da instalação, ou seja, neste sistema não existe nenhuma *Gateway* responsável por gerir a rede local como existe noutros sistemas. A comunicação é feita através da rede móvel, utilizando as tecnologias móveis GSM, 2G ou 3G

interligando a luminária e o servidor remoto onde está localizado o software de gestão *CityTouch connect application*.

CityTouch connect application

- Disponibiliza todos os pontos de luz num mapa interativo, cada controlador possui antena GPS;
- Regista os consumos de energia de cada luminária e da instalação;
- Monitoriza o estado da luminária;
- Emite notificações para falhas na instalação;
- Permite gerir a instalação remotamente, alterando perfis de fluxo luminoso e enviando comandos manuais;
- Todas estas operações são efetuadas em qualquer navegador de internet.

A Philips também disponibiliza uma aplicação virada para a manutenção chamada *CityTouch Workflow application*, onde se pretende ter uma gestão partilhada com as empresas que fazem a manutenção da instalação, para assim aumentar a fluidez na reparação de um ponto de luz danificado.

A nível de *hardware*, este sistema é constituído por dois tipos de soluções. Na primeira, existem dois componentes que são instalados na luminária, um fica na parte interna da mesma e está acoplado ao *driver*, responsável por enviar ordens para o *driver* utilizando o protocolo DALI, que efetua todas as medições elétricas da luminária. O outro é a antena de comunicação GSM e GPS que fica situada no topo da luminária. Na segunda, apenas existe um controlador que é instalado no topo da luminária.



Figura 18 – Vários tipos de controladores, todos com as mesmas funcionalidades,
(Philips CityTouch, 2018)

3.1.2 Telensa PLANet

A Telensa é uma empresa inglesa que produz soluções para aplicações em *Smart Cities*. O seu sistema tem o nome de Telensa PLANet (Telensa, 2018) e é uma das soluções mais utilizadas no para controlar iluminação pública, embora também seja a solução para várias aplicações em IOT, tais como: sensores ambientais, controlo de tráfego, parques de estacionamento, entre outros, o que o torna num sistema que está a ter cada vez mais aplicabilidade.

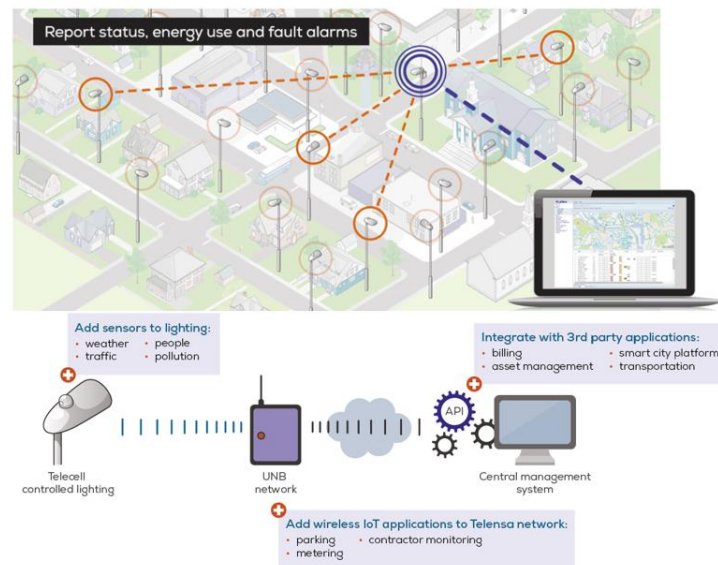


Figura 19 - Arquitetura Telensa PLANet , retirado de (Telensa, 2018)

Utiliza um protocolo proprietário chamado *Ultra Narrow Band* (UNB) que vem da tecnologia *Low Power Wide Area* (LPWA) que combina soluções de baixo custo, com capacidades para comunicar a longas distâncias, bidirecional e com um elevado número de controladores na mesma rede.

Possui uma *Gateway (Base Station)* que é responsável pela gestão dos controladores de luminária (Telecell). Cada controlador de luminária apenas comunica com a *Gateway*, o que indica que utiliza uma tipologia de rede em estrela. Cada *Gateway* pode controlar até 5000 controladores de luminária.

Os controladores são colocados no topo da luminária e as luminárias têm de estar equipadas com um acessório especial para o controlador, chamado de *NEMA Socket*. Este acessório é utilizado por vários fabricantes de luminárias, no sentido de se universalizar um conector que permita aplicar controladores de diferentes marcas no mesmo tipo de luminária. O Telecell tem a capacidade de enviar comandos para a luminária utilizando protocolo 1-10V ou DALI e capacidade para efetuar todas as medições de dados elétricos da luminária.

Telensa PLANet

- Permite distâncias máximas entre a *Gateway* e a luminárias até 10kms;
- Baixo consumo dos componentes;
- Apenas uma comunicação GSM (*Gateway*) numa instalação de máximo 5000 luminárias;
- Disponibiliza todos os pontos de luz num mapa interativo, cada controlador possui antena GPS;
- Regista os consumos de energia de cada luminária e da instalação;
- Monitoriza o estado da luminária;
- Emite notificações para falhas na instalação;
- Permite gerir a instalação remotamente, alterando perfis de fluxo luminoso e enviando comandos manuais;
- Todas estas operações são efetuadas em qualquer navegador de *internet*.

3.1.3 Schröder - Owlet

A Owlet é uma empresa alemã que pertence ao grupo Schröder, responsável por desenvolver sistemas de controlo para iluminação pública. Atualmente oferece dois tipos de soluções: Owlet Nightshift e Owlet IoT. Nas próximas secções vai aprofundar-se o sistema Owlet Nightshift.

3.1.3.1 Owlet Nightshift

O Owlet Nightshift é um sistema de controlo que utiliza o protocolo *ZigBee* com uma tipologia de rede em malha e funciona com base numa hierarquia mestre-escravo. Na figura 23, é possível verificar a arquitetura do sistema (Owlet Nightshift, 2016).

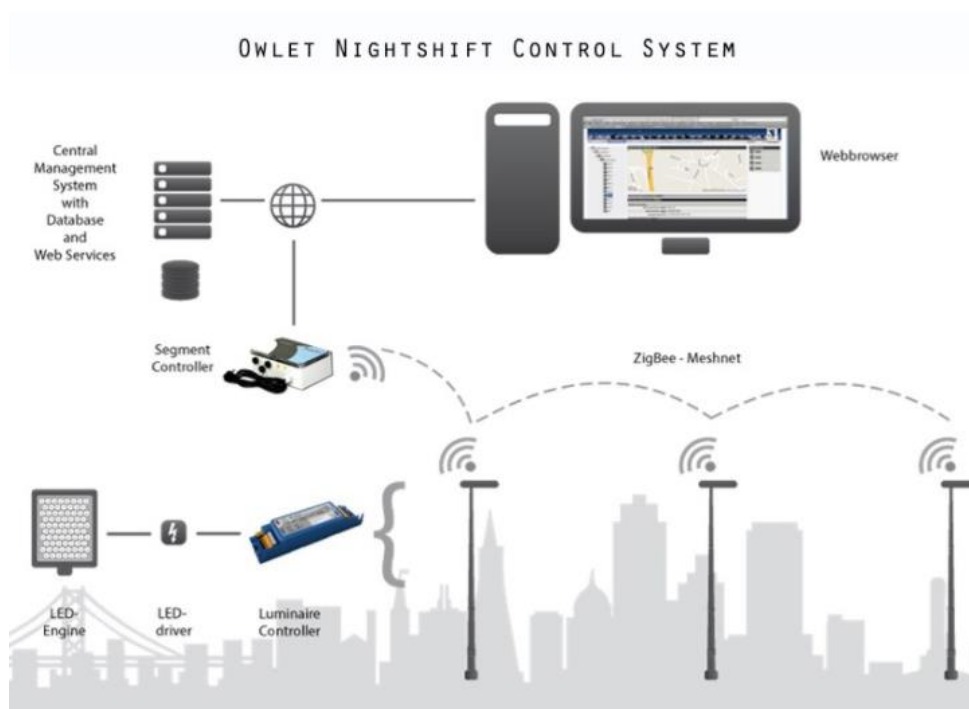


Figura 20 - Arquitetura Owlet Nightshift, retirado de (Owlet Nightshift, 2016)

A *Gateway* (que neste sistema se chama SeCo) é responsável por fazer a comunicação para o servidor, possui um módulo GSM para esse efeito e também tem a responsabilidade de gerir todos os controladores da sua rede local, num máximo até 150 controladores. O sistema tem disponível um relógio astronómico, que em alguns casos pode ser útil, pois permite controlar a hora que liga e desliga a iluminação pública, permitindo assim um maior controlo e poupanças adicionais na instalação.

Os controladores de luminária (LuCo) podem ser colocados dentro da luminária, o que implica a sua pré-instalação na altura da sua compra, ou no topo da luminária desde que esta esteja equipada com *NEMA Socket*. O LuCo permite enviar ordens para o *driver* recorrendo ao protocolo 1-10V ou DALI, e tem a capacidade para medir todos os dados elétricos da luminária. Este controlador permite ainda a conexão de sensores de presença o que pode aumentar ainda as poupanças e tornar a iluminação mais interativa com o utilizador. Na figura seguinte são mostrados os componentes deste sistema.

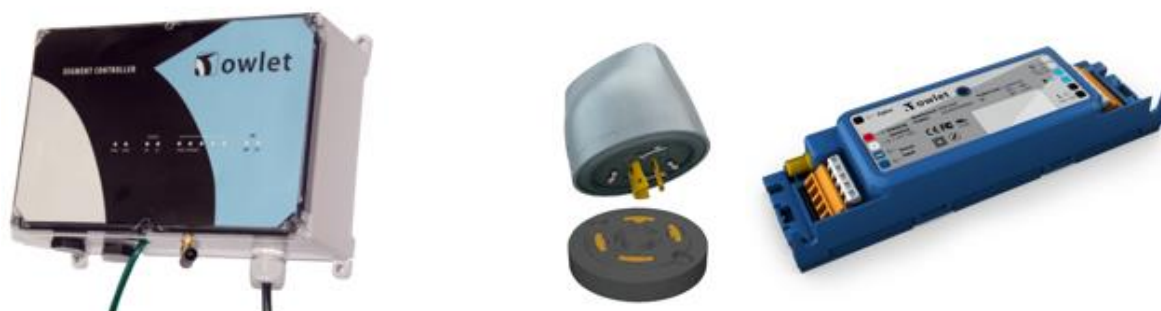


Figura 21 – SeCo (à esquerda) e LuCos (à direita)

Owlet Nightshift

- Distância máxima entre controladores é de 100m, havendo comunicação entre os vários tipos de controlador (tipologia *mesh*);
- Baixo consumo de todos os controladores;
- Apenas um módulo GSM para até 150 controladores;
- Disponibiliza toda a instalação num mapa interativo, uma das versões do controlador de luminária tem módulo GPS;
- Regista todos os consumos de cada luminária e de toda a instalação, bem como o número de horas de funcionamento;
- Monitoriza o estado das luminárias;
- Emite notificações para falhas na instalação;
- Permite a gestão remota da instalação alterando perfis de fluxo luminoso ou ainda o envio de comandos manuais para grupos de luminárias ou luminárias em específico;
- Se as luminárias possuírem sensores, existe a possibilidade de serem configurados perfis de fluxo luminoso em função da deteção de pessoas ou veículos, o que permite otimizar as poupanças da instalação;
- Todas estas operações são efetuadas a partir de qualquer navegador de internet.

3.1.3.2 Owlet IoT

Este sistema é mais virado para o panorama IoT, em que o objetivo a longo prazo passa por haver integração de sensores e outro tipo de aplicações IoT com os controladores de luminária IoT. Neste caso a comunicação é direta para o servidor, sem necessidade de utilização de uma *gateway*.

Este sistema tem comunicação híbrida pois cada controlador pode comunicar diretamente para o servidor ou podem haver pequenos grupos que se juntam e um dos controladores irá comunicar todas as informações desse grupo para o servidor. A comunicação para o servidor é feita por serviço GSM e a comunicação na rede local é feita por outro tipo de protocolo chamado de *Thread*(Schröder, 2016b), que é um protocolo semelhante ao *ZigBee*.



Figura 22 - Arquitetura Owlet IoT, retirado de (Owlet IOT, 2018)

Como foi descrito neste sistema não existe Gateway, existindo apenas o controlador de luminária (LuCo P7 CM). Este controlador é montado no topo da luminária, que terá de estar equipada com *NEMA socket*. Permite controlar o *driver* utilizando os protocolos 1-10V ou DALI, tem capacidade para efetuar medições elétricas da luminária e além disto permite a conexão de sensores instalados na luminária ou sensores por Rádio Frequência que funcionem na mesma frequência do controlador. Tem fotocélula e relógio astronômico integrado.



Figura 23 - Luco P7CM

Owlet IOT

- Não existe limite de controladores por instalação
- Baixo consumo do controlador
- Disponibiliza toda a instalação num mapa interativo, o controlador de luminária tem módulo GPS;
- Regista todos os consumos de cada luminária e de toda a instalação, bem como o número de horas de funcionamento;
- Monitoriza o estado das luminárias;
- Emite notificações para falhas na instalação;
- Permite a gestão remota da instalação alterando perfis de fluxo luminoso ou ainda o envio de comandos manuais para grupos de luminárias ou luminárias em específico;
- Se as luminárias possuírem sensores, existe a possibilidade de serem configurados perfis de fluxo luminoso em função da deteção de pessoas ou veículos, o que permite otimizar as poupanças da instalação;
- Todas estas operações são efetuadas a partir de qualquer navegador de internet.

3.2 Comparação de sistemas de telegestão

Após terem sido descritos alguns dos mais usados sistemas de telegestão, na tabela 1 apresenta-se um sumário das características dos mesmos. Escolher um sistema como sendo melhor que os outros não é fácil, pois todos eles têm características diferenciadoras, o ideal é sempre conhecer bem o projeto onde se vai utilizar o sistema de telegestão e aí, sim, podemos selecionar o mais adequado para esse mesmo projeto.

Os sistemas de telegestão com protocolos de comunicação que necessitam de *gateway* têm a desvantagem da obrigatoriedade de, na instalação, ter de haver um local específico para colocar a *gateway*, o que muitas vezes não é fácil. Por outro lado, os sistemas com protocolos que utilizam a rede GSM, ou outra semelhante, sem necessidade de ter uma *gateway*, *normalmente*, são mais caros e a esse valor de investimento ainda acresce o custo em comunicações móveis, cobrado pelas operadoras. Este tipo de sistemas geralmente também têm um consumo energético superior, que apesar de se traduzir em valores baixos por luminária, normalmente 2 a 3W, quando somados numa instalação com um grande número de luminárias poderá ser relevante.

Tabela 1 - Sistemas de Telegestão de Iluminação Pública

	Tipo de Tecnologia	Gateway e nº de controladores	Alcance	Potência (W)	Largura de banda	Ponto Forte	Ponto Fraco
Philips CityTouch	GSM	não tem <i>gateway</i> , comunica diretamente com a rede GSM	vários km's	<2W	Elevada	Não necessitar de <i>Gateway</i> .	Preço elevado do controlador e de comunicações
Telensa PLANet	UNB e GSM	5000 controladores por <i>Gateway</i>	>10Km	0.8W	Baixa	Elevado número de controladores por <i>gateway</i>	Preço elevado do sistema e baixa velocidade de transmissão de dados
Owlet Nightshift	ZigBee e GSM	150 controladores por <i>Gateway</i>	até 100m	<1W	Média	Preço competitivo e número de instalações já realizadas	Baixo número de controladores por <i>Gateway</i>
Owlet IoT	GSM e ZigBee	não tem <i>gateway</i> , comunica diretamente com a rede GSM	vários km's	<3W	Elevada	Não necessitar de <i>Gateway</i> .	Preço elevado do controlador e de comunicações

3.3 Conclusões

Neste capítulo foram descritas quatro plataformas de telegestão que existem no mercado de iluminação pública. Em relação às plataformas não existem grandes diferenças entre elas, todas elas permitem programar perfis de fluxo luminoso, formar grupos de luminárias, enviar comandos para as luminárias, conseguem registar os consumos da instalação entre outras possibilidades. A grande diferença tem a ver com a arquitetura da tecnologia, e também com o preço dos componentes que a constituem.

Enquanto o sistema da Philips apresenta uma grande dependência das comunicações GSM, os outros sistemas apresentam soluções para contornar esse problema, o que pode ser uma desvantagem para este sistema, pois o preço das comunicações é uma fatia importante na escolha de um sistema de telegestão.

O facto de a Telensa ter um sistema que utiliza um protocolo proprietário, pode ser encarado como uma vantagem por um lado ou como uma desvantagem. A vantagem, pois, sendo um protocolo

próprio tem um elevado nível de segurança, a desvantagem será não ter a possibilidade de comunicação com outros dispositivos IoT, que utilizem protocolos abertos.

Outra vantagem deste sistema são as grandes distâncias a que ele consegue comunicar e o número elevado de controladores de luminária que consegue abranger com uma *gateway*. No entanto, existem dúvidas em relação aos tempos de resposta a comandos enviados da plataforma e também reservas quanto aos preços elevados deste sistema, principalmente *da gateway*.

O sistema Owlet Nightshift é um sistema que funciona num protocolo fiável bastante testado, no entanto, com a limitação de apenas controlar 150 controladores por *gateway*, contudo, em instalações pequenas isso não será visto como um problema.

O sistema Owlet IoT é visto como um avanço do anterior, uma vez que deixa de existir em teoria a *gateway*, no entanto essa função pode ser atribuída a alguns controladores de luminária, resta saber como será feita essa gestão e se não terá problemas de resposta.

Nesta dissertação o projeto piloto irá ser realizado com o sistema Owlet Nightshift.

4 Estudo económico da aquisição de luminárias LED

Neste capítulo irá ser realizado um estudo económico para a substituição do parque de iluminação exterior da FCT/UNL para luminárias com tecnologia LED. O campus da FCT é um dos maiores da Europa e a faculdade tem mais de 8000 estudantes. O ensino é apenas diurno, no entanto, a faculdade está aberta 24h por dia e normalmente aberta durante todo o ano.

Foi realizada uma pesquisa de mercado para encontrar soluções capazes de preencher os requisitos atuais do local a nível luminotécnico e que ao mesmo tempo permitam poupanças significativas a nível energético.

Na primeira parte deste capítulo, será calculado o valor de energia consumida pela iluminação exterior em todo o campus da FCT e consequente cálculo dos custos monetários associados.

Em seguida será realizada uma seleção de equipamentos LED, numa ótica de substituição ponto a ponto, para substituir cada um dos vários tipos de luminárias que existem na faculdade.

Após a seleção de equipamentos será levado a cabo um estudo comparativo entre a solução existente de lâmpadas de descarga e as soluções LED, com e sem telegestão, tendo em conta as luminárias já mencionadas, para aferir quais as reais vantagens de ter um sistema de controlo eficiente face à solução de descarga e à mesma solução LED sem telegestão.

4.1 Iluminação exterior atual da FCT

A instalação de iluminação do Campus da FCT é constituída, na sua maioria, por uma tecnologia já obsoleta. Existem muitas luminárias que se encontram em mau estado de conservação e algumas delas estão apagadas por motivo de avaria. No entanto, existem casos em que estão desligadas por opção, com o intuito de diminuir os consumos energéticos.

As luminárias instaladas além do consumo da lâmpada em si têm também valores elevados de perdas energéticas nos balastros, assim, são soluções de elevado consumo.

A iluminação exterior da FCT divide-se em 6 tipos de luminárias diferentes:

- Tipo A1: Luminária com lâmpada 150W - Vapor de sódio em coluna metálica octogonal (10m);
- Tipo A2: Luminária com lâmpada 125W – Vapor de mercúrio em coluna metálica circular (5m);
- Tipo A3: Luminária com lâmpada 70W – Vapor de sódio em coluna metálica circular (3,5m);
- Tipo A4: Luminária com lâmpada 50W – Vapor de mercúrio em luminária de jardim;
- Tipo A5: Luminária com 6 lâmpadas de 400W – Vapor de Sódio em torre metálica octogonal (16m);
- Armadura para parede com lâmpada de 70W – Vapor de sódio.

Toda a iluminação acima referida representa um valor elevado a nível energético que se reflete a nível monetário no valor a pagar pela energia. Por este motivo ao longo dos anos, têm sido utilizadas algumas estratégias para baixar esse valor, tais como: desligar a iluminação em ruas de menor movimento, ou de forma intervalada para não ficarem zonas muito extensas sem iluminação dentro do campus, tendo sempre em conta a segurança dos utilizadores da faculdade.

Na tabela 2 é apresentado o número total de luminárias da faculdade e o número de luminárias por tipo de equipamento. Assim, tem-se um total de 488 luminárias instalados ao longo da FCT. Em anexo está a planta com a implementação das mesmas. A maioria das luminárias que se encontram nesta faculdade são também as mais utilizadas na iluminação pública em Portugal. As ruas e estradas de Norte a Sul do País são compostas na sua maioria por luminárias que utilizam lâmpadas de vapor de sódio 150W, 125W ou 70W.

Tabela 2 - Quantidade de luminárias na FCT

	Tipo A1	Tipo A2	Tipo A3	Tipo A4	Tipo A5	Armadura de Parede	Total
Nº de Luminárias	126 un	39 un	161 un	41 un	78 un	43 un	488 un

4.1.1 Cálculo da Energia consumida – Situação atual

Para o cálculo do valor de toda a energia consumida pela iluminação exterior no campus da faculdade foi considerado que estaria em pleno funcionamento. Devido às diferenças de horário entre o verão e o inverno, a iluminação funciona mais tempo durante o inverno do que durante o verão.

Para este estudo, foi estimado um valor médio de 10 horas de funcionamento por dia, valor médio de funcionamento utilizado pelas principais empresas de iluminação. Em relação ao número de dias de funcionamento, consideraram-se 365 dias por ano.

$$Total_{Horas_ano} = 10h \times 365dias = 3650 h \text{ por ano}$$

Assim considerou-se que cada luminária na faculdade funcionará um total de 3.650 horas por ano.

Na tabela 3 é apresentado a potência estimada das luminárias. O valor das potências por tipo de luminária é a soma do valor da potência da lâmpada mais 20% deste valor que se estima serem as perdas energéticas do balastro.

Tabela 3 - Potência estimada por luminária

	Tipo A1 (W)	Tipo A2 (W)	Tipo A3 (W)	Tipo A4 (W)	Tipo A5 (W)	Armadura de Parede (W)
Potência de cada tipo de luminária	180	150	84	60	480	84

Com os valores referidos na tabela 3 já é possível calcular a quantidade de energia por tipo de luminária. Na tabela 4 são apresentados esses valores:

Tabela 4 - Consumo energético para um dia de funcionamento

	Tipo A1 (kWh)	Tipo A2 (kWh)	Tipo A3 (kWh)	Tipo A4 (kWh)	Tipo A5 (kWh)	Armadura de Parede (kWh)	Total (kWh)
Consumo da instalação por dia	226,8	58,5	135,2	24,6	374,4	36,1	855,7

Após análise dos resultados obtidos para o estado atual da instalação, pode concluir-se que as luminárias do Tipo A1, A3 e A5 têm 85% dos consumos de toda a iluminação da faculdade. Estes resultados apresentam o valor consumido pelas luminárias por dia.

No caso das luminárias do Tipo A5 é normal o seu valor elevado uma vez que se tratam de luminárias de alta potência. Enquanto nos Tipos A1 e A3, os valores elevados devem-se sobretudo à grande quantidade de equipamentos que existem destes modelos.

Calculando o consumo energético para o funcionamento anual de cada tipo de luminária, ou seja, as 3.650 horas por ano, obtém-se a tabela 5:

Tabela 5 - Consumo energético para um ano de funcionamento

	Tipo A1 (KWh)	Tipo A2 (KWh)	Tipo A3 (KWh)	Tipo A4 (KWh)	Tipo A5 (KWh)	Armadura de Parede (KWh)	Total (KWh)
Consumo da instalação por ano	82.782,0	21.352,5	49.362,6	8.979,0	136.656,0	13.183,8	312.315,9

4.1.2 Cálculo do custo de energia para a iluminação atual

Após obtenção dos cálculos energéticos será possível calcular o custo da solução atual. Neste caso, nos cálculos foram efetuados considerando o valor de 0,13€ por kWh (valor normalmente utilizado no mercado luminotécnico pelas principais empresas).

Para o cálculo económico foram considerados os valores dos cálculos energéticos da tabela 6 e obtiveram-se os seguintes resultados:

Tabela 6 - Custo da instalação atual por dia

	Tipo A1 (€)	Tipo A2 (€)	Tipo A3 (€)	Tipo A4 (€)	Tipo A5 (€)	Armadura de Parede (€)	Total (€)
Custo da instalação por dia	29,484	7,605	17,581	3,198	48,672	4,696	111,236

Estes valores significam que a solução atual custa à faculdade cerca de 111€ por dia. Tendo em conta as 3.650 horas de funcionamento da iluminação por ano, observam-se os seguintes valores:

Tabela 7 - Custo de energia da instalação atual por ano

	Tipo A1 (€)	Tipo A2 (€)	Tipo A3 (€)	Tipo A4 (€)	Tipo A5 (€)	Armadura de Parede (€)	Total (€)
Consumo da instalação por ano	10.761,66	2.775,825	6.417,138	1.167,27	17.765,28	1.713,894	40.601,067

O valor obtido para o total de horas de funcionamento é de 40.601,00 € por ano. Este valor é muito elevado, tendo em conta que a ele acrescem os custos com a manutenção dos equipamentos, e a substituição das lâmpadas, pois estas têm um tempo de vida útil muito curto face a outras tecnologias. Implementando uma solução mais eficiente será possível reduzir consideravelmente o consumo energético, e consequentemente, os custos com a energia.

4.2 Implementação da Iluminação LED

Como anteriormente exposto, a instalação de iluminação na faculdade resulta em elevados consumos energéticos associados a grandes custos monetários, não só devido ao obsolescência da tecnologia, mas também aos custos de manutenção associados a esta.

Para diminuir os custos energéticos uma das soluções possíveis passa pela troca da iluminação atual por luminárias com tecnologia LED. Esta alteração, além do ganho em eficiência energética permitirá uma redução de custos. Os equipamentos LED permitirão também uma melhoria significativa da qualidade da luz, com um melhor nível de iluminação, sendo possível ter fotometrias adequadas ao tipo de zona a iluminar, redução da poluição luminosa assim como uma indireta redução das emissões de CO₂.

Para cada tipo de luminária de descarga foi escolhido uma versão *standard* em LED, para elaborar o estudo económico focou-se na potência das luminárias e no preço de aquisição para cada tipo de luminária. Relativamente aos aspetos fotométricos, como já foi mencionado, a tecnologia LED traz muitos benefícios neste aspeto.

Tabela 8 - Lista das luminárias standard LED

	Solução Atual Descarga	Solução LED
Tipo A1	Lâmpada 150W	Luminária LED 60W
Tipo A2	Lâmpada 125W	Luminária LED 30W
Tipo A3	Lâmpada 70W	Luminária LED 40W
Tipo A4	Lâmpada 50W	Luminária LED 10W
Tipo A5	6 lâmpadas 400W	4 luminárias LED 300W

Armadura de parede	Lâmpada 70W	Projektor LED 30W
---------------------------	-------------	-------------------

Na maioria dos casos acima referidos as luminárias selecionadas permitem uma substituição direta, não havendo por isso mais despesas com a instalação ou peças de adaptação. Para o caso das luminárias do tipo A5 não foi possível efetuar uma substituição direta do ponto de luz, optando-se por trocar o tipo de luminária, passando de uma luminária com 6 lâmpadas de 400W para 4 luminárias LED de 300W. Com isso, será necessária uma adaptação na torre para as novas luminárias, o que resultará em custos adicionais de instalação.

Na tabela 9, apresenta-se o número total de luminárias atualizado para a versão estudada com luminárias LED.

Tabela 9 - Quantidade de luminárias LED

	Tipo A1	Tipo A2	Tipo A3	Tipo A4	Tipo A5	Armadura de Parede	Total
Nº de Luminárias	126 un	39 un	161 un	41 un	52 un	43 un	462 un

4.2.1 Cálculo da energia consumida para a solução LED proposta

Este valor será calculado com os pressupostos anteriormente definidos, ou seja, será considerado o mesmo número de horas de funcionamento por ano: 3.650 horas.

No caso das luminárias LED o valor da potência referido representa a potência total da luminária, fonte de luz em LED e *driver* não sendo por isso necessário considerar nenhum valor extra para o cálculo das potências da solução.

Tabela 10 - Valor das potências das luminárias LED

	Tipo A1 (W)	Tipo A2 (W)	Tipo A3 (W)	Tipo A4 (W)	Tipo A5 (W)	Armadura de Parede (W)
Potência por Luminária	60	30	40	10	300	30

Considerando os valores da tabela 10 já é possível calcular os valores dos consumos energéticos da instalação por dia, com a tecnologia LED. Esses valores são apresentados na tabela 11.

Tabela 11 - Consumos energéticos com luminárias LED por dia

	Tipo A1 (kWh)	Tipo A2 (kWh)	Tipo A3 (kWh)	Tipo A4 (kWh)	Tipo A5 (kWh)	Armadura de Parede (kWh)	Total (kWh)
Consumo da instalação por dia	75,6	11,7	64,4	4,1	156	12,9	324,7

Tendo em conta estes resultados é perceptível a considerável poupança energética desta solução.

Em baixo, na tabela 12, são apresentados os resultados do seu consumo de energia anual.

Tabela 12 - Consumos energéticos com luminárias LED por ano

	Tipo A1 (kWh)	Tipo A2 (kWh)	Tipo A3 (kWh)	Tipo A4 (kWh)	Tipo A5 (kWh)	Armadura de Parede (kWh)	Total (kWh)
Consumo da instalação por ano	27.594	4.270,5	23.506	1.496,5	56.940	4.708,5	118.515,5

Os resultados obtidos demonstram que a solução LED com consumos energéticos de 118.515,5 kWh é muito inferior relativamente à solução atual com consumos de 312.315,9kWh, provando que a nível energético esta solução é mais eficiente. Em alguns casos, comparando as duas soluções chegam mesmo a observar-se mais de 80% de poupança com a solução apresentada como é o caso das soluções propostas para o tipo A2 e A4.

4.2.2 Cálculo do custo da energia para a solução LED proposta

Após a verificação da diminuição da potência da instalação procede-se ao cálculo do custo da energia e qual o seu valor monetário para a solução LED.

O custo por kWh será o já considerado de 0,13 €. E na tabela 13 são apresentados os valores para o seu custo diário.

Tabela 13 - Custo da energia para a solução LED por dia

	Tipo A1 (€)	Tipo A2 (€)	Tipo A3 (€)	Tipo A4 (€)	Tipo A5 (€)	Armadura de Parede (€)	Total (€)
Consumo da instalação por dia	9,828	1,521	8,372	0,533	20,28	1,677	42,211

O valor por dia da nova solução seria de 42,21€. Na tabela abaixo são apresentados os valores para o seu funcionamento anual:

Tabela 14 - Custo de energia da instalação LED por ano

	Tipo A1 (€ano)	Tipo A2 (€ano)	Tipo A3 (€ano)	Tipo A4 (€ano)	Tipo A5 (€ano)	Armadura de Parede (€ano)	Total (€ano)
Consumo da instalação por ano	3.587,22	555,165	3.055,78	194,55	7.402,2	612,105	15.407,015

Atendendo aos resultados acima referidos percebe-se que com esta solução seria possível reduzir 62% por ano nos custos de energia face à solução atual. A manutenção para este tipo de equipamentos não é considerada uma vez que o tempo de vida útil das luminárias LED é muito superior à das lâmpadas de descarga.

4.2.3 Rentabilização da implementação da solução LED

Uma alteração de tecnologia significa sempre um investimento, no entanto, para este caso será interessante perceber em quanto tempo poderá ser recuperado o investimento feito numa nova tecnologia através das poupanças com os custos em energia.

Para o cálculo do tempo de recuperação do investimento têm de ser considerados o valor do novo equipamento e o seu valor de instalação.

Os valores atribuídos a cada tipo de solução foram obtidos consultando 3 empresas do mercado de iluminação que têm produtos com as características que estão a ser considerados neste trabalho.

Os valores apresentados na tabela 15 são os valores médios das consultas realizadas por tipo de luminária. Foi ainda considerado um valor de 15,00€ para instalação de cada luminária.

Tabela 15 - Preços estimados para as luminárias LED

	Solução LED	Preço da Solução	Valor de instalação	Total de custo por luminária
Tipo A1	Luminária 60W	200 €	15 €	215 €
Tipo A2	Luminária 30W	100 €	15 €	115 €
Tipo A3	Luminária 40W	250 €	15 €	265 €
Tipo A4	Luminária 10W	150 €	15 €	165 €
Tipo A5	4 luminárias 300W	400 €	15 €	415 €
Armadura de parede	Projetor 30W	150 €	15 €	165 €

É necessário calcular o valor do investimento inicial para as 462 unidades. Os resultados são apresentados na tabela 16.

Tabela 16 - Investimento inicial estimado: Custo com instalação

	Tipo A1	Tipo A2	Tipo A3	Tipo A4	Tipo A5	Armadura de Parede	Total
Custo Inicial	27.090€	4.485€	20.125€	5.535€	19.500€	7.095€	83.830€

O valor para o investimento inicial total é de 83.830,00 €, sendo o Tipo A1 o que representa o maior custo, representando 30% do valor a investir.

O cálculo abaixo representa o número de anos em que o investimento será recuperado:

$$Poupanças_{Energéticas} = Custo\ Anual\ Atual - Custo\ Solução\ LED$$

$$Poupanças_{Energéticas} = 40.601,07 - 15.407,02 = 25.194,05 \text{ € por ano}$$

$$Retorno_investimento_{Inicial} = \frac{Valor\ inicial}{Poupanças\ Energéticas}$$

Tabela 17 - Retorno do investimento para as Luminárias LED em anos

	Tipo A1	Tipo A2	Tipo A3	Tipo A4	Tipo A5	Armadura de Parede	Retorno Investimento Total
Retorno	3 anos e 9 meses	2 anos	6 anos	5 anos e 8 meses	2 meses	6 anos e 5 meses	3 anos e 4 meses

O retorno do investimento da troca de toda a iluminação atual para iluminação LED é um pouco mais de 3 anos.

4.3 Implementação da Iluminação LED com telegestão

Utilizando uma proposta com luminárias com sistema de telegestão é possível ter um controle bastante minucioso sobre a instalação. Os benefícios desta escolha passam por conseguir poupanças superiores comparando com a versão normal, monitorização de toda a instalação podendo obter alertas de falhas das luminárias ou problemas que ocorram na instalação.

Com a telegestão podem ser definidos vários tipos de perfis de fluxo luminoso que poderão ser atribuídos a zonas diferentes da faculdade, por exemplo, baixando os níveis de luminosidade nos locais de menor movimento durante a noite, ou quando estão encerrados ao público. Tudo isto pode ser realizado através de um software alojado num servidor remoto online.

Na escolha da arquitetura do sistema de telegestão sendo a faculdade um local privado, não existem quaisquer limitações à instalação de *gateways* ou controladores centrais que sirvam de gestão

dos controladores de luminária, podendo ser utilizando qualquer tipo de protocolo de comunicação dos discutidos no capítulo 3.

4.3.1 Cálculo da energia consumida para a solução LED com telegestão

Com este tipo de sistemas é possível criar vários perfis de fluxo luminoso e alterá-los com alguma frequência, podendo uma rua num dia funcionar com um determinado perfil e no dia seguinte funcionar com outro tipo de perfil. Para o cálculo do valor de energia consumida para uma solução com telegestão, irá ser definido um perfil de fluxo luminoso por tipo de luminária e considerado novamente o valor de 10h por dia todo o ano.

Perfis considerados por zona e consumos das luminárias:

- Luminárias Tipo A1: zonas com maior movimento, pois trata-se sobretudo de zonas rodoviárias dentro da faculdade:

3h a 100%(60W), 2h a 80%(50W), 1h a 60%(38W), 5h a 40%(24W);

- Luminárias Tipo A2: zonas que envolvem alguns departamentos e com ligação às zonas rodoviárias da faculdade, portanto, zonas com menor movimento à noite:

3h a 100%(30W), 1h a 60%(20W), 6h a 40%(12W);

- Zona de luminárias Tipo A3: zonas entre departamentos e com ligação a alguns parques da faculdade, com menos movimento à medida que a noite avança:

3h a 100%(40W), 1h a 60%(24W), 6h a 40%(15W);

- Luminárias Tipo A4: em caminhos pedonais de zonas com pouco movimento ao longo da noite, podendo em alguns casos serem desligados a determinada hora; neste caso será admitido o seu funcionamento integral toda a noite.

10h a 100%(10W);

- Luminárias Tipo A5: Iluminação dos parques de alunos da faculdade, vão perdendo movimento ao longo da noite:

3h a 100%(300W), 2h a 80%(240W), 5h a 40%(120W).

- Iluminação de Parede: iluminação colocada nas paredes de alguns edifícios da faculdade, podem ser reduzidos durante a noite com o menor movimento junto a estas zonas:

3h a 100%(30W), 1h a 60%(20W), 6h a 40%(12W).

A tabela seguinte apresenta o total de energia consumida por cada tipo de luminária ao longo de um dia(10h) de funcionamento.

Tabela 18 - Energia consumida durante um dia

	Tipo A1 (kWh)	Tipo A2 (kWh)	Tipo A3 (kWh)	Tipo A4 (kWh)	Tipo A5 (kWh)	Armadura de Parede (kWh)	Total (kWh)
Consumo da instalação por dia	55,188	7,098	3,7674	4,100	131,560	7,826	243,446

Na tabela 18 foi obtido o valor de 243kWh por dia para toda a iluminação da faculdade. Irá ser agora apresentado o valor da energia anual, para facilitar a comparação com a iluminação atual.

Tabela 19 - Consumo de energia para solução LED com telegestão durante um ano

	Tipo A1 (kWh)	Tipo A2 (kWh)	Tipo A3 (kWh)	Tipo A4 (kWh)	Tipo A5 (kWh)	Armadura de Parede (kWh)	Total (kWh)
Consumo da instalação por ano	20.143,620	2.590,770	13.751,010	1.496,500	48.019,400	2.856,490	88.857,790

Comparando com a situação atual, esta solução obtém poupanças bastante elevadas e podem ser inclusivamente aumentadas, pois com o sistema de telegestão é possível diminuir ainda mais os perfis de fluxo luminoso a que as luminárias funcionam.

4.3.2 Cálculo do custo de energia para a solução LED com telegestão

O cálculo das potências irá ser calculado utilizando o valor de 0,13€ por kWh, como definido anteriormente.

Tabela 20 - Custo de energia por dia, com telegestão

	Tipo A1 (€)	Tipo A2 (€)	Tipo A3 (€)	Tipo A4 (€)	Tipo A5 (€)	Armadura de Parede (€)	Total (€)
Custo da instalação por dia	7,174	0,923	4,898	0,533	17,103	1,017	31,648

Sendo o valor médio por dia de 31,65€ o que representa um custo bastante abaixo da solução atual e 10€ abaixo em comparação com a solução LED sem telegestão.

Calculando o valor para um ano de funcionamento com os regimes acima referidos temos:

Tabela 21 - Custo de energia para um ano, com telegestão

	Tipo A1 (€)	Tipo A2 (€)	Tipo A3 (€)	Tipo A4 (€)	Tipo A5 (€)	Armadura de Parede (€)	Total (€)
Custo da instalação por ano	2.618,67	336,80	1.787,63	194,55	6.242,52	371,34	11.551,51

Podemos assim constatar que com a solução de telegestão conseguir-se-ia obter um valor de 11.551,51€ por ano para toda a iluminação. Este valor representa uma redução de 71,5% nos custos de energia relativamente à solução atual.

4.3.3 Rentabilização da solução LED com telegestão

Para efeitos de análise, será calculado o valor do retorno do investimento considerando a instalação de luminárias com telegestão. Alguns sistemas de telegestão possuem controladores que permite controlar mais de uma luminária ao mesmo tempo, e fazendo as luminárias responder em conjunto ou podendo inclusive calcular as mesmas luminárias com perfis diferentes, para isso depende de qual o protocolo de comunicação que as luminárias possuem (1-10V ou DALI).

Neste caso irá ser utilizado um controlador por luminária, e sendo assim será somado ao valor da luminária o custo de 75€ de um controlador de telegestão. Este valor foi determinado consultando 3 empresas de iluminação e sendo este o valor médio de todos os valores consultados.

Tabela 22 - Preços estimados para as luminárias LED com sistema de telegestão

	Solução LED	Preço da Solução	Valor do controlador	Valor de montagem	Total de custo por luminária
Tipo A1	Luminária 60W	200 €	75 €	15 €	290 €
Tipo A2	Luminária 30W	100 €	75 €	15 €	190 €
Tipo A3	Luminária 40W	110 €	75 €	15 €	200 €
Tipo A4	Luminária 10W	120 €	75 €	15 €	210 €
Tipo A5	Luminárias 300W	350 €	75 €	15 €	440 €
Armadura de parede	Projektor 30W	150 €	75 €	15 €	240 €

Com os valores da tabela 22, já é possível elaborar o cálculo para o valor do investimento para todas as 462 unidades necessárias. Assim, conforme a tabela 23 o investimento inicial seria de 117960€.

Tabela 23 - Investimento inicial para iluminação LED com telegestão

	Tipo A1	Tipo A2	Tipo A3	Tipo A4	Tipo A5	Armadura de Parede	Total
Investimento inicial	36.540€	7.410€	32.200€	8.610€	22.880€	10.320€	117.960€

Para se proceder ao cálculo do número de anos em que o investimento será amortizado, tem de ser apurado primeiro o valor das poupanças anuais:

$$Poupanças_{Energéticas} = \text{Custo Energia Anual Atual} - \text{Custo Energia LED Telegestão}$$

$$Poupanças_{Energéticas} = 40601,07 - 11551,51 = 29089,56 \text{ € por ano}$$

Utilizando a solução LED com telegestão obteríamos poupanças de cerca de 29.089,56€ por ano.

Tabela 24 - Retorno do investimento em luminárias LED com telegestão

	Tipo A1	Tipo A2	Tipo A3	Tipo A4	Tipo A5	Armadura de Parede	Retorno Total
Retorno em anos	4 anos e 6 meses	3 anos	6 anos e 10 meses	9 anos	3 meses	7 anos e 8 meses	4 anos e 1 mês

Assim, verifica-se que a solução proposta de luminárias LED com telegestão demoraria cerca de 4 anos para se amortizar o investimento. O valor obtido é um pouco superior à solução LED sem telegestão, contudo a longo prazo com a solução LED com telegestão é possível obter poupanças energéticas superiores. O valor do retorno poderia ser um pouco mais baixo utilizando perfis de fluxo luminoso mais arrojados para permitir maiores poupanças durante a noite.

4.4 Conclusões

Neste capítulo foram apresentadas duas soluções para a substituição da iluminação atual da faculdade.

Na primeira parte, fez-se um levantamento de cada ponto de luz da iluminação atual da faculdade. As luminárias presentes na faculdade já se apresentam em mau estado e utilizam tecnologias ultrapassadas. Foram apresentados os consumos energéticos por tipos de luminárias e o valor total da instalação. Foi extraído o custo monetário de energia para a instalação atual.

Foi proposta uma solução para substituição da iluminação atual por luminárias *standard* LED. Na maioria dos casos, considerou-se uma substituição direta de todos os equipamentos da solução atual por uma solução LED, apenas no caso do Tipo A5 foi pensado uma alteração da estrutura da torre de iluminação visto não ser fácil encontrar uma solução com o mesmo formato em LED para este tipo de luminária.

Após apresentadas as soluções LED, foram calculados os seus consumos energéticos e apresentados os custos em energia das novas luminárias. Calculou-se também o tempo em que o investimento numa solução totalmente LED, sem telegestão, demoraria a ser amortizado.

Foi analisada a mesma solução LED, mas associada a um sistema de telegestão. Tendo em conta a zona em que se encontram, foram definidos perfis de fluxo luminoso para cada tipo de luminária na faculdade e os cálculos da energia consumida foram realizados, tendo em conta esses perfis. Calculou-se também o tempo de amortização do investimento inicial para este tipo de solução.

Por fim, é possível concluir que uma solução LED com telegestão embora tenha um custo inicial superior resulta num retorno do investimento um pouco mais longo, a longo prazo será uma tecnologia que trará vantagens tanto a níveis de poupanças energéticas bem como ao nível de poupanças em manutenção e permitindo um controlo da instalação muito mais eficaz.

5 Projeto Piloto na FCT

Como já foi referido anteriormente o sistema de telegestão utilizado no projeto piloto foi o Owlet Nightshift. Para tal, foram instaladas quatro luminárias LED com sistema de telegestão e colocado um controlador numa das luminárias atuais Tipo A1 na FCT.

A instalação do controlador numa das luminárias existentes teve apenas como objetivo de efetuar medições dos consumos energéticos desta luminária em comparação com as outras luminárias LED.

Este sistema funciona com Gateway, que neste caso se chama SeCo. O SeCo ficou instalado dentro do Departamento de Engenharia Eletrotécnica, perto de uma das luminárias de telegestão. A comunicação deste sistema é realizada utilizando protocolo ZigBee, e as luminárias idealmente não podem distar mais de 100m de outra luminária. Neste caso, as luminárias estão bastante perto, tendo intervalos de 20m a 30m entre elas.

Visão geral do software Owlet Nightshift:

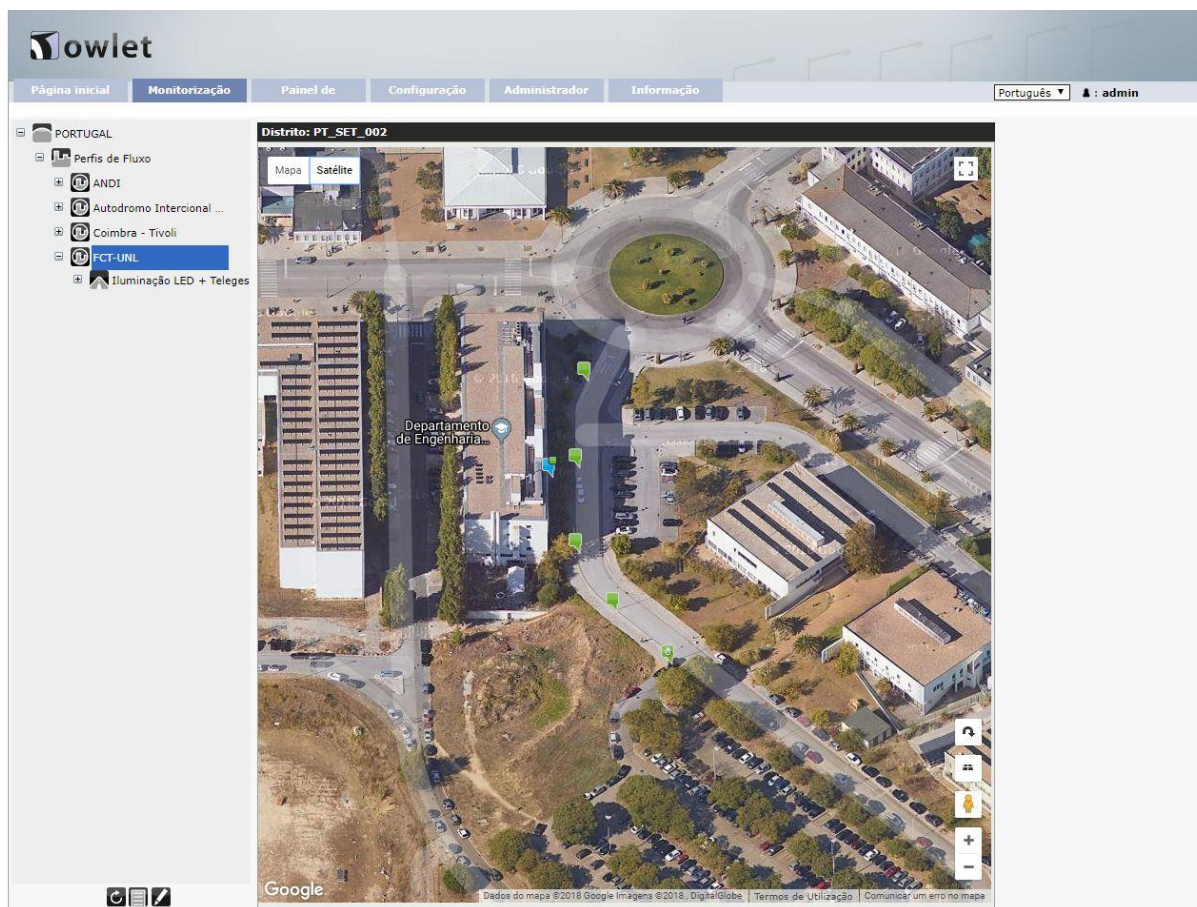


Figura 24 - Instalação da FCT

As luminárias LED utilizadas nos ensaios foram os modelos Teceo1 e Voltana 3 da Schröder.



Figura 25 – Voltana 3 (à esquerda) e Teceo 1 (à direita)

Todas as luminárias possuem 24Leds alimentados a 700mA, estando instalado dentro de cada luminária um controlador Owlet-Luco NXP responsável pelo controlo de cada luminária. Nos modelos Teceo1 o driver utilizado é controlado pelo protocolo DALI, enquanto no modelo Voltana o driver utilizado é controlado pelo protocolo 1-10V. Em ambos os casos, os drivers são da marca LG.



Figura 26 - Rua com a instalação piloto à noite

Após a instalação das luminárias no local e de configuradas no sistema, foi efetuada uma leitura para medir a potência, a diferentes fluxos luminosos. Foi detetado que a luminária “LED04” não reduzia o seu fluxo luminoso nem o seu consumo de energia, muito provavelmente alguma das cablagens de

controle foi danificada durante a instalação, assim, daqui para a frente esta luminária será considerada como uma luminária que funciona sempre ao fluxo máximo e analisada nesse sentido.

A tabela 25 contém os dados retirados:

Tabela 25 - Valores das potências das luminárias para vários fluxos luminosos

Potência vs Fluxo Luminoso							
Luminária	100%	80%	60%	50%	40%	30%	20%
LED01	57,6 W	48,5 W	38,0 W	32,6 W	27,8 W	18,2 W	12,9 W
LED02	56,8 W	46,5 W	36,6 W	31,4 W	26,8 W	18,2 W	12,9 W
LED03	56,9 W	46,2 W	35,1 W	30,5 W	24,7 W	18,7 W	12,5 W
LED04	56,1 W	56,1 W	56,1 W	56,1 W	56,1 W	56,1 W	56,1 W

Analisando os valores da tabela 25, não se encontram grandes diferenças de valores entre as 3 primeiras luminárias. Como já foi referido acima a luminária LED01 e LED02 funcionam com o protocolo DALI e a luminária LED03 funciona com o protocolo 1-10V, contudo isso não provoca grandes discrepâncias entre luminárias podendo ser os dois tipos de luminárias instaladas nos projetos, lado a lado, sem que se note qualquer diferença para o comum utilizador.

Neste projeto foram utilizados os seguintes perfis:

- Luminárias TECEO (LED01 e LED02): Iluminação liga até 22h:100%;
22h até 00h: 80%;
00h até 05h: 40%;
05h até iluminação desligar:100%.
- Luminárias Voltana: Iluminação liga até 22h:100%;
22h até 00h: 80%;
00h até desligar: 40%;

Para análise neste capítulo, foram considerados as noites de 5 de setembro a 10 de setembro, 5 noites em que a iluminação da FCT funcionou aproximadamente 11 horas.

5.1 Luminária Tipo A1: Cálculo e Custo da energia consumida

Como já foi referido anteriormente, neste projeto piloto foi instalado um controlador numa das luminárias do Tipo A1 atual, de modo a ser possível medir o consumo médio diário desta luminária, para os 5 dias de funcionamento.



Figura 27 - Visão da Luminária Tipo A3 no sistema de telegestão

Para o cálculo da energia consumida pela luminária, foi usado o valor 179W indicado pelo controlador instalado (como mostra a Fig. 33). A tabela 26 mostra o consumo aproximado da luminária para os 5 dias de funcionamento, resultando num consumo médio diário de 1.96 kWh (tabela 27).

Tabela 26 - Nº de horas de funcionamento e energia consumida

Noite Considerada	Potência medida (W)	Nº de horas de funcionamento	Energia (kWh)
5 de Set para 6 de Set	179,3	10:58	1,963
6 de Set para 7 de Set	179,3	10:50	1,939
7 de Set para 8 de Set	179,3	11:04	1,981
8 de Set para 9 de Set	179,3	10:54	1,951
9 de Set para 10 de Set	179,3	10:55	1,954

Tabela 27 - Valores médios para os 5 dias de funcionamento

Consumo médio por dia	
Horas de funcionamento	Energia (kWh)
10:56	1,96

Considerando o valor de 0,13€ por kWh irá ser calculado o valor monetário:

$$\text{Custo Energia por dia} = 1,96 \times 0,13 = 0,255\text{€}$$

A luminária Tipo A3 consumiu uma média de 1,96 kWh por noite, durante os 5 dias em que os testes foram realizados, o que se traduz em cerca de 0,25€ por noite em funcionamento.

5.2 Luminárias LED: Cálculo e custo da energia consumida

Nas tabelas 28 a 47 apresentam-se os dados das luminárias LED com telegestão.

Foram considerados os 5 dias de funcionamento, e registou-se o número de horas em que as luminárias funcionaram, tal como para a luminária Tipo A1.

Foi também registado o tempo em que cada luminária funcionou a determinado fluxo luminoso.

Para as luminárias LED01 e LED02 foi definido o perfil de fluxo luminoso denominado de “LED_DALI” e para as luminárias LED03 e LED04 foi definido o perfil de fluxo luminoso denominado de “LED_1-10V”.

Os perfis definidos foram diferentes, sendo que o “LED_1-10V” foi um mais arrojado ao nível das poupanças. As diferenças entre os perfis não estão relacionadas com o tipo de controlo que cada luminária utiliza.

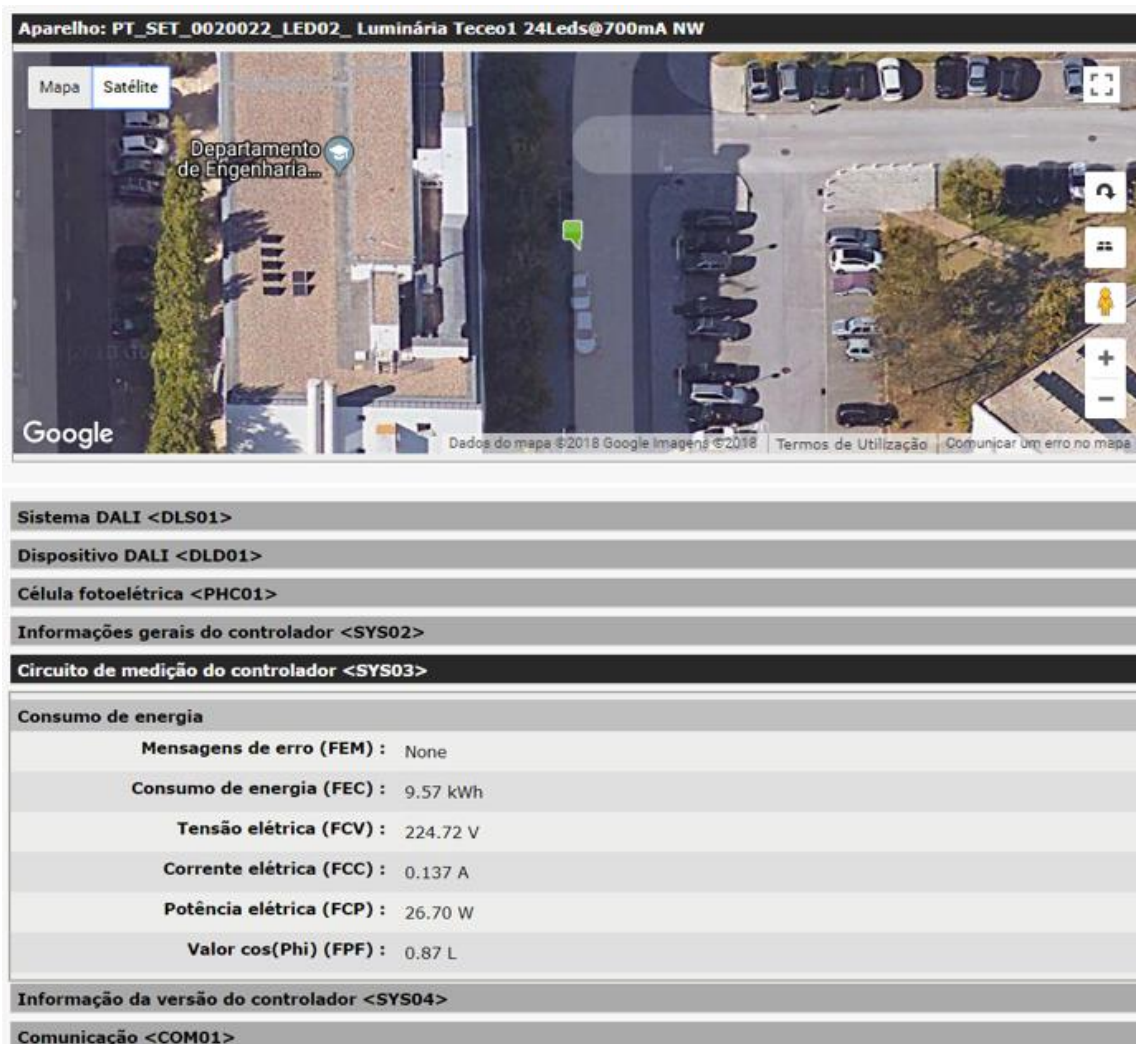


Figura 28 – Visão da luminária LED02 a 40% do fluxo

5.2.1 Luminária LED01

Luminária Teceo1 24Leds a 700mA

- Noite de 5 de setembro para 6 de setembro:

Tabela 28 - Funcionamento LED01 de 5 para 6 de setembro

Fluxo Luminoso	Potência (W)	Nº de horas de funcionamento	Energia (kWh)
100%	57,6	01:50	0,106
80%	48,5	02:00	0,097
40%	27,8	05:00	0,139
100%	57,6	02:08	0,123
Total		10:58	0,465

2. Noite de 6 de setembro para 7 de setembro:

Tabela 29 - Funcionamento LED01 de 6 para 7 de setembro

Fluxo Luminoso	Potência (W)	Nº de horas de funcionamento	Energia (kWh)
100%	57,6	01:49	0,105
80%	48,5	02:00	0,097
40%	27,8	05:16	0,146
100%	57,6	01:45	0,101
Total		10:50	0,449

3. Noite de 7 de setembro para 8 de setembro:

Tabela 30 - Funcionamento LED01 de 7 para 8 de setembro

Fluxo Luminoso	Potência (W)	Nº de horas de funcionamento	Energia (kWh)
100%	57,6	01:51	0,107
80%	48,5	02:16	0,110
40%	27,8	04:43	0,131
100%	57,6	02:14	0,129
Total		11:04	0,476

4. Noite de 8 de setembro para 9 de setembro:

Tabela 31 - Funcionamento LED01 de 8 para 9 de setembro

Fluxo Luminoso	Potência (W)	Nº de horas de funcionamento	Energia (kWh)
100%	57,6	01:52	0,108
80%	48,5	01:59	0,100
40%	27,8	04:59	0,140
100%	57,6	02:04	0,119
Total		10:54	0,461

5. Noite de 9 de setembro para 10 de setembro:

Tabela 32 - Funcionamento LED01 de dia 9 para 10 de setembro

Fluxo Luminoso	Potência (W)	Nº de horas de funcionamento	Energia (kWh)
100%	57,6	01:51	0,107
80%	48,5	02:40	0,129
40%	27,8	04:20	0,121
100%	57,6	02:04	0,119
Total		10:55	0,475

Tabela 33 - Valores médios para os 5 dias de funcionamento

Valores Médios para os 5 dias	
Horas de funcionamento	Energia(kWh)
10:56	0,465

Considerando o valor de 0,13€ por kWh irá ser calculado o custo médio de energia por dia da luminária LED01:

$$\text{Custo Energia por dia} = 0,47 \times 0,13 = 0,061\text{€}$$

A luminária LED01 consumiu uma média de 0,47 kWh por noite durante os 5 dias em que os testes foram realizados, o que se traduz em cerca de 0,06 € por noite em funcionamento.

5.2.2 Luminária LED02

Luminária Teceo1 24Leds a 700mA

1. Noite de 5 de setembro para dia 6 de setembro:

Tabela 34 - Funcionamento LED01 de dia 5 para 6 de setembro

Fluxo Luminoso	Potência (W)	Nº de horas de funcionamento	Energia (kWh)
100%	56,8	01:50	0,104
80%	48,5	02:00	0,093
40%	26,7	05:00	0,134
100%	56,8	02:08	0,121
Total		10:58	0,452

2. Noite de 6 de setembro para dia 7 de setembro:

Tabela 35 - Funcionamento LED01 de dia 6 para 7 de setembro

Fluxo Luminoso	Potência (W)	Nº de horas de funcionamento	Energia (kWh)
100%	56,8	01:49	0,104
80%	48,5	02:00	0,093
40%	26,7	05:16	0,141
100%	56,8	01:45	0,99
Total		10:50	0,436

3. Noite de 7 de setembro para dia 8 de setembro:

Tabela 36 - Funcionamento LED01 de dia 7 para 8 de setembro

Fluxo Luminoso	Potência (W)	Nº de horas de funcionamento	Energia (kWh)
100%	56,8	01:51	0,105
80%	48,5	02:16	0,105
40%	26,7	04:43	0,126
100%	56,8	02:14	0,127
Total		11:04	0,463

4. Noite de 8 de setembro para dia 9 de setembro:

Tabela 37 - Funcionamento LED01 de dia 8 para 9 de setembro

Fluxo Luminoso	Potência (W)	Nº de horas de funcionamento	Energia (kWh)
100%	56,8	01:52	0,106
80%	48,5	01:59	0,092
40%	26,7	04:59	0,133
100%	56,8	02:04	0,117
Total		10:54	0,449

5. Noite de 9 de setembro para dia 10 de setembro:

Tabela 38 - Funcionamento LED01 de dia 9 para 10 de setembro

Fluxo Luminoso	Potência (W)	Nº de horas de funcionamento	Energia (kWh)
100%	56,8	01:51	0,105
80%	48,5	02:40	0,129
40%	26,7	04:20	0,121
100%	56,8	02:04	0,119
Total		10:55	0,475

Tabela 39 - Valores médios para os 5 dias de funcionamento

Valores Médios para os 5 dias	
Horas de funcionamento	Energia(kWh)
10:56	0,45

Considerando o valor de 0,13€ por kWh irá ser calculado o custo médio de energia por dia da luminária LED02:

$$\text{Custo Energia por dia} = 0,45 \times 0,13 = 0,059\text{€}$$

A luminária LED02 consumiu uma média de 0,45kWh por noite durante os 5 dias em que os testes foram realizados, o que se traduz em cerca de 0,06 € por noite em funcionamento.

5.2.3 Luminária LED03

Luminária Voltana 3 24Leds a 700mA.

1. Noite de 5 de setembro para dia 6 de setembro:

Tabela 40 - Funcionamento LED01 de dia 5 para 6 de setembro

Fluxo Luminoso	Potência (W)	Nº de horas de funcionamento	Energia (kWh)
100%	56,9	01:50	0,104
80%	46,2	02:00	0,092
40%	24,7	07:08	0,176
Total		10:58	0,373

2. Noite de 6 de setembro para dia 7 de setembro:

Tabela 41 - Funcionamento LED01 de dia 6 para 7 de setembro

Fluxo Luminoso	Potência (W)	Nº de horas de funcionamento	Energia (kWh)
100%	56,9	01:49	0,103
80%	46,2	02:00	0,092
40%	24,7	07:01	0,173
Total		10:50	0,369

3. Noite de 7 de setembro para dia 8 de setembro:

Tabela 42 - Funcionamento LED01 de dia 7 para 8 de setembro

Fluxo Luminoso	Potência (W)	Nº de horas de funcionamento	Energia (kWh)
100%	56,9	01:52	0,106
80%	46,2	01:59	0,092
40%	24,7	07:03	0,174
Total		10:54	0,372

4. Noite de 8 de setembro para dia 9 de setembro:

Tabela 43 - Funcionamento LED01 de dia 8 para 9 de setembro

Fluxo Luminoso	Potência (W)	Nº de horas de funcionamento	Energia (kWh)
100%	56,9	01:51	0,105
80%	46,2	02:16	0,105
40%	24,7	06:57	0,172
Total		11:04	0,382

5. Noite de 9 de setembro para dia 10 de setembro:

Tabela 44 - Funcionamento LED01 de dia 9 para 10 de setembro

Fluxo Luminoso	Potência (W)	Nº de horas de funcionamento	Energia (kWh)
100%	56,9	01:51	0,105
80%	46,2	02:40	0,129
40%	24,7	06:24	0,179
Total		10:55	0,414

Tabela 45 - Valores médios para 5 dias de funcionamento

Valores Médios para os 5 dias	
Horas de funcionamento	Energia (kWh)
10:56	0,382

Considerando o valor de 0,13€ por kWh irá ser calculado o custo médio de energia por dia da luminária LED03:

$$\text{Custo Energia por dia} = 0,382 \times 0,13 = 0,050\text{€}$$

A luminária LED03 consumiu uma média de 0,382 kWh por noite, durante os 5 dias em que os testes foram realizados, o que se traduz em cerca de 0,05 € por noite em funcionamento.

5.2.4 Luminária LED04

Luminária Voltana 3 24Leds a 700mA

Embora esta luminária funcione com sistema de telegestão, aqui servirá para simular o consumo de uma luminária sem telegestão, ou seja, sempre a 100% do fluxo luminoso.

Tabela 46 - Funcionamento LED01 de dia 5 a 10 de setembro

Noite Considerada	Potência medida (W)	Nº de horas de funcionamento	Energia(kWh)
5 de Set para 6 de Set	56,4	10:58	0,619
6 de Set para 7 de Set	56,4	10:50	0,611
7 de Set para 8 de Set	56,4	11:04	0,624
8 de Set para 9 de Set	56,4	10:54	0,615
9 de Set para 10 de Set	56,4	10:55	0,616

Tabela 47 - Valores médios para 5 dias de funcionamento

Valores Médios para os 5 dias	
Horas de funcionamento	Energia (kWh)
10:56	0,620

Considerando o valor de 0,13€ por kWh irá ser calculado o valor monetário:

$$\text{Custo Energia por dia} = 0,62 \times 0,13 = 0,080\text{€}$$

A luminária LED04 consumiu uma média de 0,620 kWh por noite, durante os 5 dias em que os testes foram realizados, o que se traduz em cerca de 0,08€ por noite em funcionamento.

5.3 Conclusão

Neste capítulo, foi descrita a instalação piloto com quatro luminárias LED com sistema de telegestão e a instalação de um controlador, com o mesmo sistema, localizada junto ao Departamento de Engenharia Eletrotécnica da FCT.

Existem dois modelos de luminárias LED na instalação piloto, Teceo 1 e Voltana 3. Foram atribuídos diferentes perfis de fluxo luminoso a cada um dos tipos de luminárias. Como ao efetuar as medições elétricas foi detetado um problema da redução de fluxo luminoso numa das luminárias, esta foi contabilizada como uma luminária a funcionar com o fluxo máximo, sem qualquer tipo de regulação.

Através do sistema de telegestão, foi possível fazer a leitura da potência das luminárias durante a noite, e em cada fase do seu perfil de funcionamento, com estes dados foi calculado o valor médio da energia consumida durante os 5 dias em que o teste foi realizado.

Por fim, calculamos o valor médio da energia consumida por cada uma das cinco luminárias (4 luminárias LED e 1 do Tipo A1) bem como o valor do custo monetário para cada caso.

6 Análise de Resultados

Neste capítulo serão analisados os resultados do estudo económico para a substituição da iluminação atual para iluminação LED, na FCT/UNL. Ambas as soluções propostas, iluminação LED com e sem telegestão serão comparadas com os resultados obtidos na instalação piloto que foi realizada no campus.

6.1 Análise do estudo económico realizado no capítulo 4

Será realizada uma comparação aos resultados obtidos no capítulo 4. Em primeiro lugar, serão analisados os resultados dos consumos de energia e depois comparados com a solução atual, e o mesmo será feito em relação aos custos energéticos e rentabilização das soluções apresentadas.

6.1.1 Comparação em termos energéticos da solução atual para as soluções LED propostas

No gráfico da figura 34, aparecem relacionados os valores de energia para a solução atual em comparação com luminárias LED com e sem telegestão. Os valores aparecem por tipo de luminária.

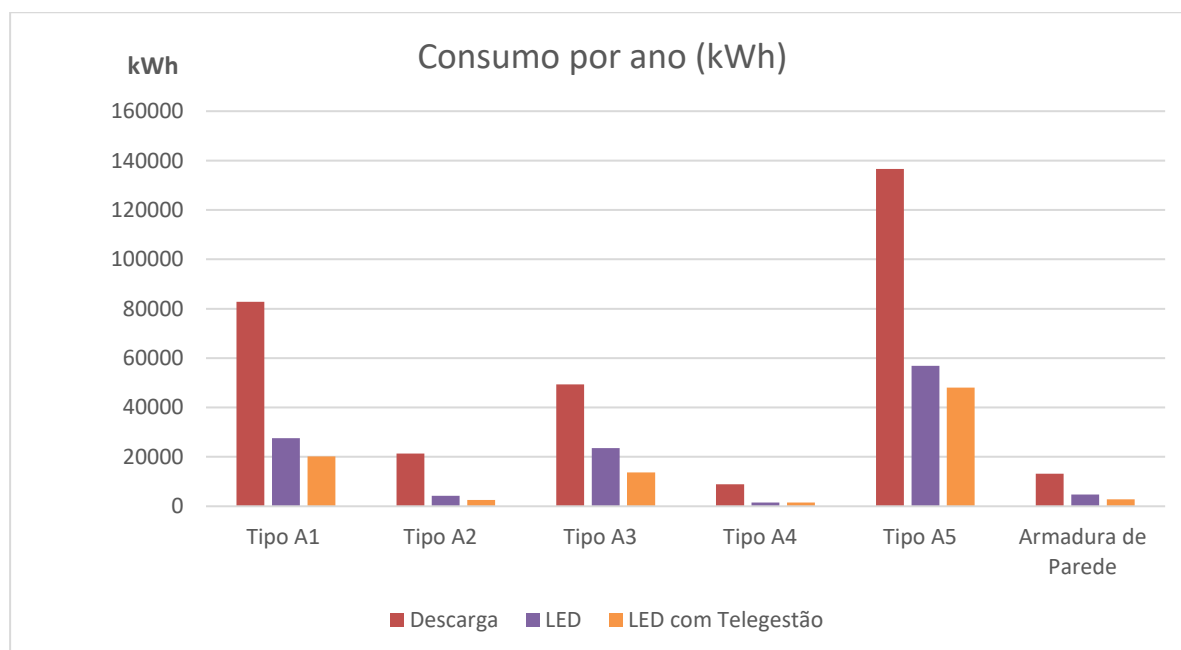


Figura 29 - Gráfico dos consumos de energia para as 3 soluções

Analisando os dados por tipo de luminária, percebe-se que as luminárias do Tipo A1 apresentam consumos energéticos um pouco superiores a 82.000 kWh por ano e, comparando com as soluções LED propostas, esse consumo poderia ser reduzido para 27.594 kWh ou para 20.143 kWh, sem sistema de telegestão e com sistema de telegestão, respetivamente. Em termos de percentagem, seria possível obter uma poupança na ordem dos 67% para a solução sem telegestão e com telegestão essa poupança aumentaria para 76%.

Para o Tipo A2 que, atualmente, apresenta consumos na ordem dos 21.352 kWh por ano, esses valores poderiam baixar para 4.240 kWh com uma solução LED sem telegestão e para 2.591 kWh com uma solução com telegestão. O que representaria uma redução de 80% com iluminação LED sem telegestão e de 88% com iluminação LED com telegestão, em relação à realidade atual.

No tipo A3, os consumos atuais são de 49.362 kWh por ano, com as soluções LED seria possível diminuir os consumos para 23.506 kWh sem telegestão e 13.751 kWh com telegestão. Obtendo poupanças na ordem dos 52% para iluminação LED e 72% para iluminação LED com telegestão.

No tipo A4, registam-se consumos de 8.979 kWh que poderiam diminuir para 1.497 kWh, em ambas as soluções com LED, sendo que, no estudo realizado este tipo de equipamentos funcionaria sempre a 100% do fluxo luminoso, o que permitiria obter poupanças energéticas de 83% em relação à solução atual.

Para o tipo A5 com um consumo atual na ordem dos 136.656 kWh, a solução respondente LED consumiria cerca de 56.940 kWh e a solução com telegestão consumiria 48.019 kWh, o que representaria poupanças de 58% e 65% respetivamente.

Por fim, a solução atual em Armadura de Parede, apresenta consumos na ordem dos 13183 kWh que poderiam baixar para 4.708 kWh numa solução LED sem telegestão e para 2.856 kWh para uma solução LED com telegestão, com poupanças de 64% no primeiro caso e de 78% para o segundo.

Analisando a instalação como um todo, o consumo de todas as soluções, acima referidas, perfaz um total de 312.316 kWh, aplicando uma solução LED esse consumo reduziria para 118.486 kWh e sendo aplicada a solução LED com telegestão esse valor baixaria para 88.858 kWh. Descrevendo de outro modo, seria possível alcançar 62% de poupança para uma solução LED e 72% de poupança para uma solução LED com telegestão. Fazendo uma relação entre as duas soluções propostas, é possível afirmar que a solução LED com telegestão permitiria uma redução de 25% de poupança, quando comparada a uma solução LED sem telegestão.

6.1.2 Custos solução atual vs. Poupanças das Soluções LED

O gráfico da figura 35 representa o custo em energia da solução atual, comparado com o custo em energia das soluções duas propostas, com e sem sistema de telegestão.

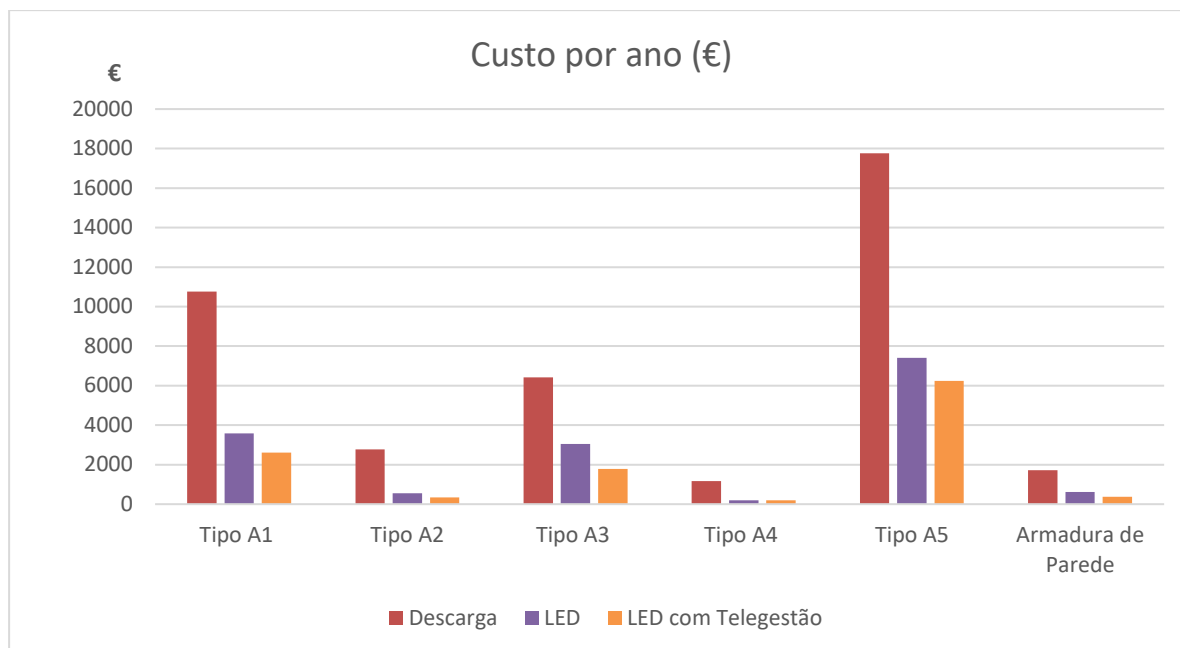


Figura 30 - Gráfico com o custo anual em energia de cada tipo de luminária, por solução

Considerando os custos anuais de cada um dos tipos de luminárias que existem na faculdade, percebemos que as luminárias do tipo A1 custam cerca de 10.762€ em energia e com soluções LED sem telegestão esses custos baixariam para 3.587€ e para 2.618€, respetivamente.

Nas luminárias do tipo A2 que atualmente custam cerca de 2.776€ por ano iriam diminuir para 555€ e 336€.

O tipo A3, atualmente, representa um custo em energia de cerca de 6.417€ por ano, e poderia reduzir esse valor para 3.055€ e 1.787€.

No tipo A4, a solução atual custa cerca de 1.167€ por ano, passaria a custar 194€ por ano.

No tipo A5, o tipo de iluminação mais dispendioso da instalação atual da faculdade tem custos na ordem dos 17.765 € por ano, poderia baixar para 7.402€ na versão LED sem telegestão e 6.243€ na versão LED com telegestão.

Finalmente, as armaduras de parede têm um custo em energia de cerca de 1.714€ por ano na solução de descarga, com as soluções LED sem telegestão e com telegestão esse custo diminuiria para 612€ e 371€, respetivamente.

Totalizando todos os custos de energia, na solução atual, chegamos a um valor aproximado de 40.601€, por ano. Se fosse utilizada a solução LED sem telegestão, os custos de energia da instalação diminuiriam para cerca de 15.406€.

Se, por outro lado, se optasse por uma solução LED com telegestão os custos com energia reduziram para cerca de 11.551€, por ano. Neste caso, os valores poderiam ter ainda uma redução mais acentuada, caso os cálculos considerassem perfis de fluxo luminoso com níveis mais baixos durante a noite.

6.1.3 Retorno do investimento para ambas as soluções propostas

No gráfico da figura 36, é representado o valor do investimento inicial por tipo de luminária, considerando para cada tipo uma solução LED sem telegestão e uma solução LED com telegestão.

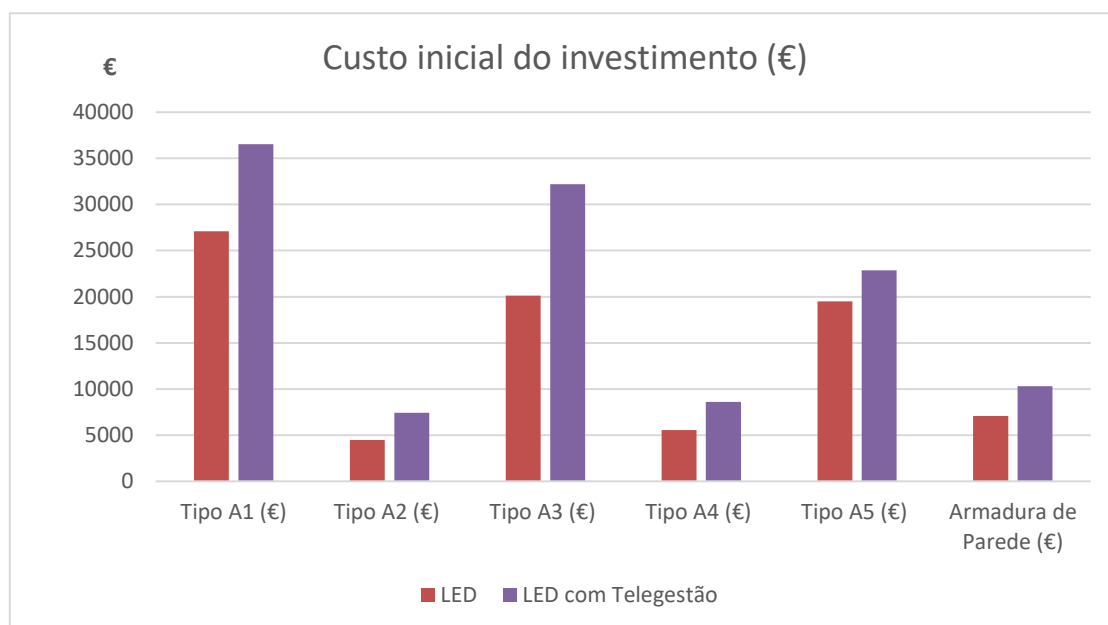


Figura 31 - Gráfico do custo inicial para as soluções propostas

Como expectável, o preço de aquisição de uma luminária LED aumenta significativamente com a inclusão do sistema de telegestão, em alguns tipos de luminária este incremento chega quase aos 40%, como é o caso das luminárias Tipo A2.

No total, a solução LED com telegestão é aproximadamente 29% mais cara do que a solução LED sem telegestão. Os valores são de 117.960€ para a versão com telegestão e de 83.830€ para a versão sem telegestão.

Na tabela 48, são apresentados os anos necessários para haver um retorno do investimento, através das poupanças com os custos em energia, para as duas soluções propostas. Na mesma tabela também é apresentado o retorno para cada tipo de solução LED. O gráfico da figura 37 ilustra o número de anos necessários para o retorno do investimento, para todos os tipos de luminárias, com e sem telegestão.

Tabela 48 - Rentabilização do investimento LED vs. LED com telegestão

Retorno em anos	Tipo A1	Tipo A2	Tipo A3	Tipo A4	Tipo A5	Armadura de Parede	Retorno Total
LED	3 anos e 9 meses	2 anos	6 anos	5 anos e 8 meses	2 meses	6 anos e 5 meses	3 anos e 4 meses
LED com telegestão	4 anos e 6 meses	3 anos	6 anos e 10 meses	9 anos	3 meses	7 anos e 8 meses	4 anos e 1 mês

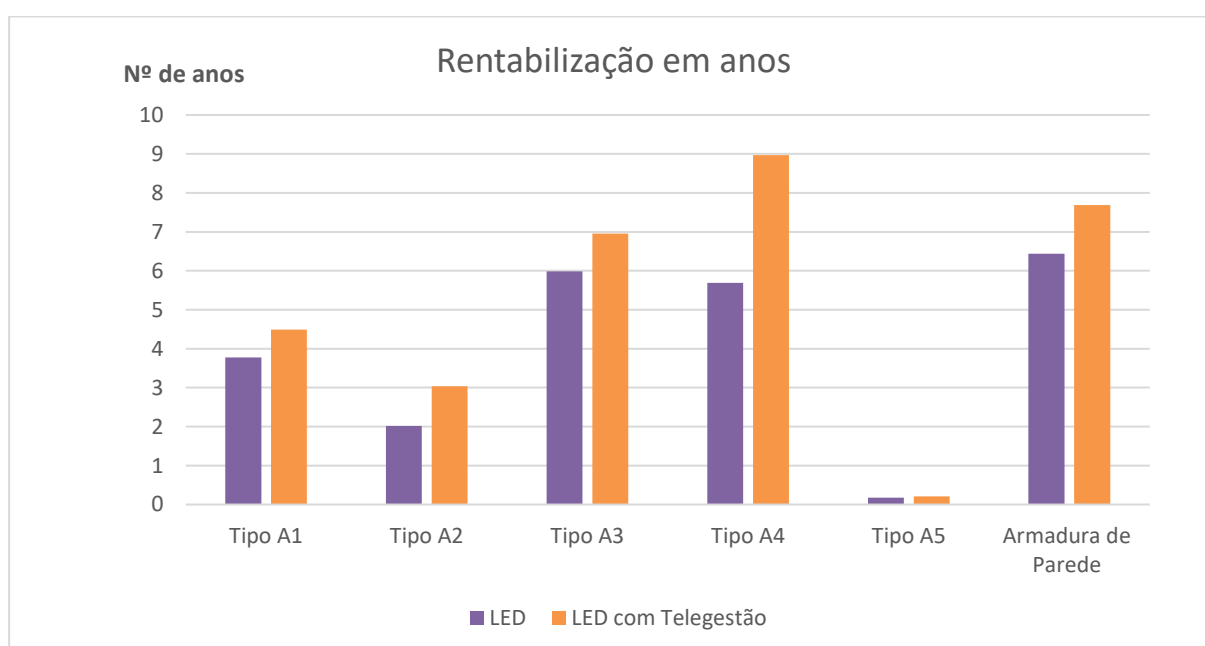


Figura 32 - Gráfico com a rentabilização de ambas as soluções em anos

As luminárias LED têm um tempo de vida útil elevado, em alguns casos os fabricantes garantem um tempo de vida útil superior a 20 anos. Tendo isso em conta, ambas as soluções apresentam retornos do investimento relativamente curtos.

A solução LED sem telegestão permite um retorno mais rápido do investimento realizado, um pouco mais de 3 anos, passando a ter um custo energético de 15.406€ por ano. Enquanto que, no caso da iluminação LED com telegestão, esse valor aumenta para 4 anos, contudo o custo de energia por ano seria de 11.551€ o que, a longo prazo, traria maiores poupanças. Uma outra vantagem seria a diminuição dos custos de manutenção através de funcionalidades como a verificação do estado da instalação e a possibilidade de emissão de alertas de problemas, entre outras possíveis com um sistema de telegestão.

6.2 Análise aos resultados do projeto Piloto

A análise aos resultados obtidos no projeto piloto, será elaborada através dos consumos das cinco luminárias controladas. Serão comparados o valor de energia e os custos da mesma para cada uma delas. A luminária DES01 representa uma luminária tipo A1 do modelo atual instalada na faculdade, as luminárias LED01, LED02 e LED03 representam uma solução proposta em LED com telegestão para substituição das luminárias tipo A1 e a LED04 representa o mesmo tipo de luminária LED, mas neste caso sem telegestão.

6.2.1 Consumo energético para os 5 dias do projeto

No gráfico da figura 38 são apresentados os consumos energéticos para as 5 noites, com os valores relativos a cada uma das luminárias contempladas no projeto.

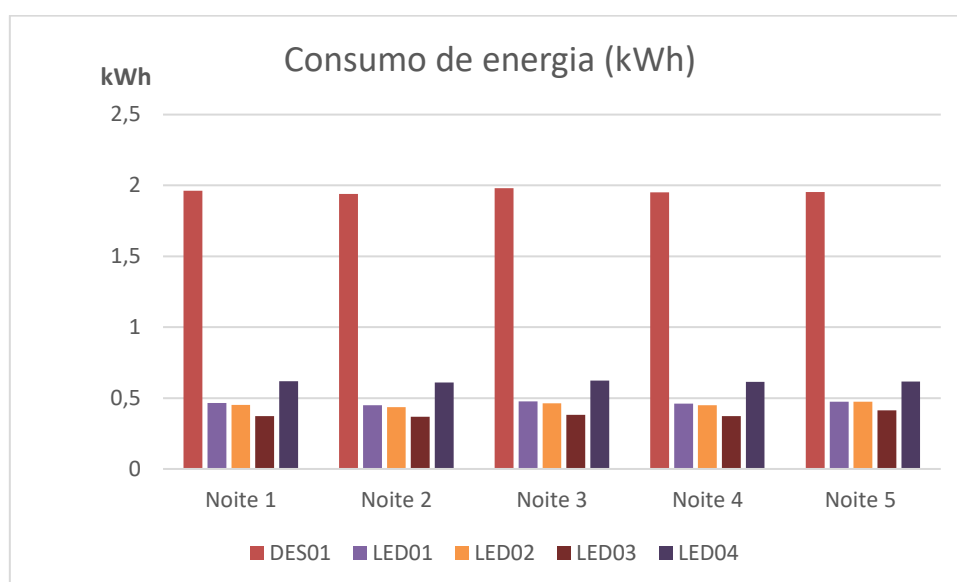


Figura 33 - Consumo durante os 5 dias do projeto piloto

Analisando o gráfico da figura 38, pode concluir-se que a diferença no consumo de energia entre a luminária do tipo A1, denominada DES01, e as restantes luminárias é elevada, apresentando valores na ordem dos 1,96 kWh.

Como esperado as luminárias LED01 e LED02 têm consumos energéticos muito semelhantes, pois ambas foram analisadas em funcionamento com o mesmo perfil de fluxo luminoso, estas apresentam consumos médios de 0,47 kWh e 0,45 kWh, respetivamente.

A luminária LED03 esteve em funcionamento com um perfil de fluxo luminoso com níveis mais baixos que as luminárias LED01 e LED02, o que é evidente no gráfico de energia, tem uma média de consumos de 0,38 kWh.

A análise dos consumos médios da luminária LED04, foi com a mesma em pleno funcionamento sem qualquer redução de fluxo luminoso, tal como funcionaria uma luminária sem telegestão. Este facto é claro, quando se verifica que o seu consumo energético médio é mais elevado que o das restantes luminárias, ou seja, de 0,62 kWh.

Analisando os valores do consumo energético médio da luminária do Tipo A1 em comparação com os das restantes luminárias percebe-se que é possível ter poupanças na ordem dos 76%, em relação às luminárias LED01 e LED02, sendo que o nível de poupanças aumenta para 80% relativamente à luminária LED03 e quando comparamos com a luminária LED04 esse número baixa para 62%.

Fazendo a mesma comparação, entre as soluções LED, sem telegestão e com telegestão, ou seja, comparando os valores de LED01, LED02 e LED03 com os valores da luminária LED04 percebe-se que a luminária LED01 e LED0,2 com o perfil de fluxo LED_DALI, tem poupanças energéticas 25% superiores relativamente à luminária LED04.

Enquanto a luminária LED03 com o perfil LED_1-10V apresenta reduções de energia na ordem dos 39%.

Os valores aqui representados foram obtidos considerando apenas os perfis de fluxo luminoso utilizados neste projeto.

6.3 Comparação entre os resultados do estudo económico da iluminação da FCT e o projeto piloto

No projeto piloto apenas foi possível realizar a instalação de luminárias que se enquadravam como uma solução para substituição das luminárias tipo A1. Foram instaladas luminárias com telegestão e retirados os valores para comparar com os resultados obtidos no capítulo 4.

Anteriormente nos cálculos realizados, percebeu-se que a substituição de uma luminária do tipo A1 por uma luminária LED correspondente iria obter poupanças energéticas de 67% e no projeto piloto essas poupanças foram de 68%, para a mesma situação.

Quanto à luminária com telegestão, os cálculos apresentados sugeriam poupanças na ordem dos 76% e no projeto piloto as luminárias com o perfil de fluxo luminoso semelhante ao usado no capítulo 4, perfil LED_DALI, obteve poupanças de cerca de 76%.

No entanto, no perfil luminoso com níveis de poupanças mais rigorosos estas poupanças aumentaram para 80% em relação à luminária tipo A1.

6.4 Conclusão

Neste capítulo foram analisados os resultados obtidos no estudo económico de substituição para luminárias LED realizado no capítulo 4. Foram apresentados os valores dos consumos energéticos comparando a situação atual com as luminárias LED, com e sem telegestão.

Estabeleceu-se uma comparação entre os resultados e revelados os valores das poupanças energéticas para toda a instalação, que seriam de 62% para uma solução LED sem telegestão e que passaria para poupanças de 72% para uma solução LED com telegestão.

Compararam-se também os custos da solução atual com um valor de cerca de 40.601 €, por ano, que poderiam ser reduzidos para cerca de 15.406 € com uma solução LED sem telegestão e de 11.511 € para uma solução LED com telegestão.

Calcularam-se também o tempo para o retorno do investimento para as duas soluções propostas, sendo que, seria de cerca de 3 anos e 4 meses para a solução LED sem telegestão e de 4 anos e 1 mês com telegestão. No entanto, ao longo da vida útil deste tipo de equipamentos as luminárias com telegestão são um melhor investimento.

Comparando os resultados do projeto piloto com os resultados calculados no capítulo 4 para as luminárias tipo A1 na instalação da FCT, pode ser verificado que os valores calculados e os valores obtidos são muito aproximados. Assim, foi possível provar que as poupanças nas luminárias LED com e sem sistema de telegestão são de facto soluções que garantem reduções de consumos energéticos na iluminação pública.

7 Conclusões e Trabalho futuro

Neste trabalho, foram estudados os benefícios da iluminação LED aliados a sistemas de controlo ou sistemas de telegestão na iluminação pública. A título de exemplo, foi considerado o caso da instalação de iluminação atual da FCT/UNL para realizar um projeto piloto que comprove estes benefícios, através de um caso prático.

Através da descrição resumida da iluminação pública em Portugal, desde a utilização da lâmpada até à introdução ao LED, percebe-se que esta é, no momento, a solução de futuro para a iluminação pública. Explicaram-se os protocolos de comunicação utilizados nos drivers de luminárias LED e abordaram-se as arquiteturas mais utilizadas em sistemas de telegestão e os protocolos de comunicação normalmente associados a estas. Fez-se também uma breve explicação acerca de algumas das plataformas de telegestão disponíveis no mercado e as suas principais valências.

A iluminação atual da FCT/UNL serviu de caso de estudo durante este trabalho, para ser possível apurar os consumos energéticos e os custos de energia de uma instalação real, com iluminação maioritariamente de descarga. Em seguida, foi estudada uma solução de luminárias com tecnologia LED para substituir cada tipo de luminária atual da faculdade. Foram calculados os seus consumos e custos de energéticos, tendo como base estes novos modelos definidos. Verificou-se que com esta troca a faculdade poderia ter reduções nos consumos de energia de cerca de 62%. Em seguida, integrando nesta solução LED definida um sistema de telegestão, extrapolou-se que as poupanças seriam de 72% face à instalação atual.

O projeto piloto neste trabalho foi essencial para confirmar os cálculos realizados no capítulo 4. Utilizando uma das possíveis soluções para substituição das luminárias do tipo A1, os cálculos realizados comprovaram que os resultados estimados eram válidos para casos reais. Ou seja, os resultados das poupanças energéticas obtidos no projeto piloto são muito próximos dos calculados previamente para o mesmo caso. Conseguindo-se, assim, provar que estas soluções aliadas à iluminação LED trazem grandes proveitos a nível de poupanças energéticas. Além destas, também resultam em poupanças a nível de custos de manutenção, pois com estes sistemas é possível saber as condições da instalação e identificar problemas na mesma, evitando a necessidade de verificação no terreno, com recurso a técnicos para verificação do estado da iluminação pública.

Como trabalho futuro, poderá ser analisada de forma mais pormenorizada cada zona do campus, criando para cada uma delas perfis de fluxo luminoso dedicados, tendo em conta não só a afluência habitual no campus, mas também nos períodos em que o número de pessoas na faculdade reduz drasticamente, tais como, no período de Natal e em parte do Verão. Em alguns desses casos, poder-se-á mesmo considerar a possibilidade de desligar pontos de luz alternadamente para assim maximizar o máximo as poupanças energéticas. Seria interessante calcular as poupanças energéticas dessas mudanças e, depois, efetuar testes no terreno para as comprovar. Outra possibilidade teria sido a utilização de iluminação LED com telegestão aliada a sensores de presença e movimento, prevendo

as suas poupanças teóricas e realizar um projeto piloto com esta solução para, assim, comprovar os valores obtidos.


A iluminação funciona numa infraestrutura elétrica já existente, sem custos de instalação e bem situada por todas as cidades e isso é uma grande vantagem para a implementação de soluções IoT no terreno. As empresas de referência da área da tecnologia e algumas *start up* já olham para as luminárias não apenas como um produto para iluminar estradas, caminhos, etc., mas como um meio para aplicações de dispositivos IoT. A maioria das empresas fabricantes de equipamentos de iluminação também já pensam que as suas luminárias num futuro próximo em vez de possuírem um controlador para ir reduzindo apenas a iluminação ao longo da noite, podem ser utilizadas com outras funções, como sensores de medições de índices ambientais, instalação de routers Wi-Fi, sistemas CCTV e até instalações de micro células 5G.

Referências

- American Medical Association. (2016). COUNCIL ON SCIENCE AND PUBLIC HEALTH Human and Environmental Effects of Light Emitting Diode (LED) Community Lighting AMA Report 2016, 8. Retrieved from <https://www.ama-assn.org/sites/default/files/media-browser/public/about-ama/councils/Council Reports/council-on-science-public-health/a16-csaph2.pdf>
- Archana, L., Yasin, M., & Bhagya, R. (2017). DALI Based Light and Motor Control System for Movable Spot Luminaires, (August), 433–437.
- Balasubramanian, L., Akshay, D. R., & Team, C. A.-E. (2017). Programmable LED drivers, 1054–1059.
- Cenedese, A., Zanella, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014). Padova smart City: An urban Internet of Things experimentation. *Proceeding of IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks 2014, WoWMoM 2014*. <https://doi.org/10.1109/WoWMoM.2014.6918931>
- Costa, H. (2013). Henrique Costa Plataforma inteligente para Sistemas de Iluminação Pública.
- Deng, H., Xiao, L., & Xue, H. (2015). Wireless network node of LED street lamps. *IEEE International Conference on Electro Information Technology, 2015–June*, 207–209. <https://doi.org/10.1109/EIT.2015.7293341>
- Joshi, M., Madri, R., Sonawane, S., Gunjal, A., & Sonawane, D. N. (2013). Time Based Intensity Control for Energy Optimization Used for Street Lighting. <https://doi.org/10.1109/TIIEC.2013.44>
- Jun, Y., & Wei, W. (2010). LED Lighting Control System Based on the Zigbee Wireless Network. *2010 International Conference on Digital Manufacturing & Automation*, 892–895. <https://doi.org/10.1109/ICDMA.2010.60>
- LG PISE-A040A, L. I. (2015). Outdoor 40W Selectable Output Power Protection Functions, 2015(January), 1–9.
- Li, C., Wu, J., & He, X. (2010). Realization of a General LED Lighting System Based on a Novel Power Line Communication Technology. *2010 Twenty-Fifth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, 2300–2304. <https://doi.org/10.1109/APEC.2010.5433557>
- Lumec. (2010). The Dynadimmer. Retrieved December 13, 2017, from http://www.lumec.com/newsletter/architect_06-10/dynadimmer.html
- Magno, M., Polonelli, T., Benini, L., & Popovici, E. (2014). A Low-cost, Highly Scalable Wireless Sensor Network Solution to Achieve Smart LED Light Control for Green Buildings. *IEEE Sensors Journal, PP(99)*, 1–1. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2014.2383996>
- Müllner, R., & Riener, A. (2011). An energy efficient pedestrian aware Smart Street Lighting system. *International Journal of Pervasive Computing and Communications*, 7(2), 147–161. <https://doi.org/10.1108/17427371111146437>
- Nogueira, F. J. (2013). AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DE LUMINÁRIAS EMPREGANDO LEDs ORIENTADAS À ILUMINAÇÃO PÚBLICA, 193.

- Nogueira, F. J., Melo, I. D., Albuquerque, V. M., Gouveia, L. H., Casagrande, C. G., Pinto, D. P., & Braga, H. A. C. (2014). Street lighting LED luminaires using telemanagement systems: Study of case. *2014 11th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications, IEEE INDUSCON 2014 - Electronic Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/INDUSCON.2014.7059464>
- NOGUEIRA, F. J., MELO, I. D., GOUVEIA, L. H., CASAGRANDE, C. G., BRAGA, H. A. C., & PINTO, D. P. (2014). Avaliação de um sistema de telegerenciamento empregando luminárias led de iluminação pública. *Congresso Brasileiro de Automática*.
- Owlet IOT. (2018). Owlet IOT. Retrieved January 27, 2018, from <http://www.schreder.com/en/aboutus/schreder-owlet-remote-management/owlet-iot>
- Owlet Nightshift. (2016). Owlet Nightshift. Retrieved January 27, 2018, from <http://www.schreder.com/en/aboutus/schreder-owlet-remote-management/interoperable-network>
- Patel, D., & Won, M. (2017). Experimental Study on Low Power Wide Area Networks (LPWAN) for Mobile Internet of Things. <https://doi.org/10.1109/VTCSpring.2017.8108501>
- Pereira, R. (2016). Rui Jorge Santos Pereira Supervisão e Controlo remoto da iluminação na via pública.
- Philips CityTouch. (2018). Philips CityTouch. Retrieved January 27, 2018, from <http://www.lighting.philips.com/main/systems/lighting-systems/citytouch>
- Philips Lighting. (2018a). City Touch Brochure. Retrieved November 28, 2018, from http://images.philips.com/is/content/PhilipsConsumer/PDFDownloads/Global/ODLI20181010_001-UPD-en_AA-14998_CT_General_US_v7R_HR.pdf
- Philips Lighting. (2018b). Xi LP 22W 0.2-0.7A S1 230V S175 sXt. Retrieved August 14, 2018, from http://www.docs.lighting.philips.com/en_gb/oem/download/xitanium/Xi_LP_22W_0.2-0.7A_S1_230V_S175_sXt_929001613606.pdf
- Reverberi. (2018). Reverberi Range. Retrieved January 20, 2018, from <https://www.reverberi.it/en/prodotti/reverberi>
- Rodrigues, C. R. B. S., Almeida, P. S., Soares, G. M., Jorge, J. M., Pinto, D. P., & Braga, H. A. C. (2011). Experimental characterization regarding two types of phosphor-converted white high-brightness LEDs: Low power and high power devices. *COBEP 2011 - 11th Brazilian Power Electronics Conference*, 734–740. <https://doi.org/10.1109/COBEP.2011.6085243>
- Saravanan, M., Das, A., & Iyer, V. (2017). Smart water grid management using LPWAN IoT technology. *GloTS 2017 - Global Internet of Things Summit, Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/GIOTS.2017.8016224>
- Schröder. (2013). Owlet Control Systems. Retrieved January 11, 2018, from <https://www.schreder.com/globalassets/sitecollectiondocuments/additional-content/schreder-owlet-control-systems-v2.pdf>
- Schröder. (2016a). SCHRÉDER LED LIGHTING SOLUTIONS ARE THE SAFEST ON THE MARKET. Retrieved January 20, 2018, from <https://www.schreder.com/en-au/news/schreder-led-lighting->

solutions-are-the-safest-on-the-market

- Schröder, B. (2016b). Owlet IoT Street Lighting Control System. Retrieved January 5, 2018, from <https://www.beka-schreder.co.za/owlet-iot-street-lighting-control-system/>
- Seca, N. M. V. (2013). Sistemas de Informação aplicados a Sistemas de Iluminação Pública.
- Sinopoli, J. (2010). Lighting Control Systems. *Smart Building Systems for Architects, Owners and Builders*, 47–57. <https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-653-8.00004-1>
- Telensa. (2018). Telensa PLANet. Retrieved January 27, 2018, from <https://www.telensa.com/smart-lighting/>
- Vaz, L. C. T. (2010). Supervisão e controlo remoto da iluminação na via pública, 105. Retrieved from <http://ria.ua.pt/bitstream/10773/3924/1/4643.pdf>
- Wu, W., Wu, M., & Liu, Y. (2007). A design of embedded DALI controller. *2006 IEEE International Conference on Industrial Informatics, INDIN'06*, 0, 1237–1240. <https://doi.org/10.1109/INDIN.2006.275816>
- Yan, L. (2013). Integrated Analog Dimming Controller for System ,... J , 147–149.
- Yousuf, M. S., & El-shafei, M. (2008). Power Line Communications:, 218–222.